

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN

PREDICCIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE CHOCOLATE
MEDIANTE PRUEBAS ACELERADAS EN BASE AL
ÍNDICE DE PERÓXIDO COMO DESCRIPTOR DE
CALIDAD

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

AUTORAS : **Est. Yomely Garcia Lopez**
Est. Jessica Thalia Vásquez Vega

ASESORES : **Dra. Ing. María Alina Cueva Ríos**
Mg. Ing. Frank Fernández Rosillo

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Calidad alimentaria

JAÉN-PERÚ, SETIEMBRE 2023

NOMBRE DEL TRABAJO

INFORMA FINAL.docx

AUTOR

Thalia y Yomely

RECUENTO DE PALABRAS

11832 Words

RECUENTO DE CARACTERES

62456 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

63 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

6.5MB

FECHA DE ENTREGA

Jun 22, 2023 5:44 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jun 22, 2023 5:47 PM GMT-5**● 16% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 15% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)
- Material citado



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Ley de Creación N° 29304

Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2019-SUNEDU/CD

FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 19 de julio del año 2023, siendo las 08:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente: Dr. Juan Dario Rios Mera

Secretario: Dr. Ernesto Hernández Martínez

Vocal: M.Sc. Yudelly Torrejón Rodríguez, para evaluar la Sustentación de:

- () Trabajo de Investigación
() Tesis
() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: "PREDICCIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE CHOCOLATE MEDIANTE PRUEBAS ACELERADAS EN BASE AL ÍNDICE DE PERÓXIDO COMO DESCRIPTOR DE CALIDAD".

presentado por las Estudiantes **Yomely Garcia Lopez** y **Jessica Thalia Vásquez Vega** de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

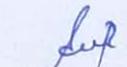
() Aprobar () Desaprobar () Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|--------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | (16) |
| c) Bueno | 14, 15 | () |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

Siendo las 10:07 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

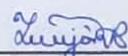
Jaén, 19 de julio de 2023



Dr. Juan Dario Rios Mera
Presidente



Dr. Ernesto Hernández Martínez
Secretario



M.Sc. Yudelly Torrejón Rodríguez
Vocal

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	ii
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MATERIALES Y MÉTODOS	12
2.1. Lugar de ejecución	12
2.2. Población, muestra y muestreo	12
2.2.1. Población	12
2.2.2. Muestra	12
2.2.3. Muestreo	12
2.3. Métodos, técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos	13
2.3.1. Métodos, técnicas y procedimientos	13
2.3.2. Recolección de datos	17
2.4. Diseño experimental	17
2.5. Análisis estadístico de datos	19
III. RESULTADOS	21
3.1. Determinación del índice de peróxido de chocolate	21
3.1.1. Índice de peróxido inicial	21
3.1.2. Resultados del índice de peróxido luego de las pruebas de vida útil acelerada (ASLT)	21
3.2. Determinación de la vida útil del chocolate	23
3.2.1. Orden de reacción	23
3.2.2. Energía de activación (E_a) y factor pre exponencial (K_0)	24
3.2.3. Constante de cinética de deterioro (K) y vida útil	26
3.2.4. Estadística descriptiva mediante Box-plot	29
IV. DISCUSIÓN	34
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	38
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
DEDICATORIA	48
AGRADECIMIENTO	49
ANEXOS	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Diseño experimental para la lectura de índice de peróxido del chocolate.....	19
Tabla 2 Medias y desviación estándar de los valores de índice de peróxido del chocolate.....	22
Tabla 3 Análisis de varianza (ANVA) de dos factores.....	22
Tabla 4 Determinación del orden de reacción según el índice de peróxido	23
Tabla 5 Datos de $1/T$ vs $\ln K$ para cada tipo de envase	24
Tabla 6 Valores de $-E_a/R$ y E_a para cada tipo de envase	26
Tabla 7 Valores de $\ln K_0$ y K_0 para cada tipo de envase	26
Tabla 8 Valores de K y vida útil para cada temperatura de estudio y tipo de envase ...	27
Tabla 9 Valores de K y vida útil para cada temperatura calculada y tipo de envase.....	28
Tabla 10 Matriz de datos de índice de peróxido para $5\text{ }^\circ\text{C}$	61
Tabla 11 Matriz de datos de índice de peróxido para $20\text{ }^\circ\text{C}$	61
Tabla 12 Matriz de datos de índice de peróxido para $35\text{ }^\circ\text{C}$	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Flujograma para la determinación de la vida útil del chocolate	17
Figura 2	Relación entre Ln K con 1/T del chocolate para envase de 20 μ	25
Figura 3	Relación entre Ln K con 1/T del chocolate para envase de 50 μ	25
Figura 4	Vida útil determinada en función de la temperatura de almacenamiento	29
Figura 5	Índice de peróxido para la variable de temperatura	30
Figura 6	Índice de peróxido para la variable tipo de empaque.....	31
Figura 7	Índice de peróxido vs temperatura y tipo de empaque.....	32
Figura 8	Tabletas de chocolates codificadas	50
Figura 9	Adaptabilidad de tabletas en refrigeración (5°C).....	50
Figura 10	Acondicionamiento de tabletas a temperatura ambiente.....	51
Figura 11	Acomodamiento de tabletas en estufa (35°C).....	51
Figura 12	Trituración de tabletas de chocolate.....	52
Figura 13	Pesos de las muestras de chocolate	52
Figura 14	Muestras de chocolate de 5 gramos	53
Figura 15	Cartuchos con chocolate triturado	53
Figura 16	Extracción de aceite del chocolate mediante el método soxhlet a 40 °C.....	54
Figura 17	Eliminación de residuos de éter mediante el uso de la estufa a 75 °C por 15 minutos.....	54
Figura 18	Muestras extraídas de grasa de chocolate	55
Figura 19	Grasa triturada de chocolate.....	55
Figura 20	Materiales para titulación.....	56
Figura 21	Calentamiento de la muestra a 40 °C por 1 minuto aproximadamente.....	56
Figura 22	Adición de ácido acético y cloroformo	57
Figura 23	Adición de yoduro de potasio	57
Figura 24	Incorporación de agua destilada.....	58
Figura 25	Titulación 1 con tiosulfato de sodio	58
Figura 26	Adición de almidón indicador.....	59
Figura 27	Titulación 2 con tiosulfato de sodio	59
Figura 28	Resultados de las muestras después de la titulación	60
Figura 29	Regresión lineal a 5 °C para empaque bilaminado de 20 μ	63
Figura 30	Regresión lineal a 5 °C para empaque bilaminado de 50 μ	63

Figura 31 Regresión lineal a 20 °C para empaque bilaminado de 20 μ	64
Figura 32 Regresión lineal a 20 °C para empaque bilaminado de 50 μ	64
Figura 33 Regresión lineal a 35 °C para empaque bilaminado de 20 μ	65
Figura 34 Regresión lineal a 35 °C para empaque bilaminado de 50 μ	65

RESUMEN

La vida útil de un producto alimenticio es el periodo finito tras la fabricación y el envasado hasta donde se conserva un nivel de calidad requerido y aceptable para el consumo final. El objetivo de la investigación fue predecir la vida útil de chocolate 100 % cacao empacado en envases de foil de aluminio bilaminado de 20 y 50 μ respecto al índice de peróxido, haciendo uso de pruebas aceleradas a temperaturas de 5, 20 y 35 °C y humedad relativa del 65 %. La evaluación del índice de peróxido se realizó por titulación potenciométrica. Se definió el orden de la reacción y con el modelo de Arrhenius se encontró la constante de velocidad de degradación para cada envase y temperatura de estudio. Se determinó la vida útil con la ecuación de cinética de formación de compuestos de oxidación a temperaturas de almacenamiento, 0, 5, 10, 15, 18, 20, 25, 30 y 35 °C en 274, 217, 174, 141, 124, 114, 94, 77 y 64 días para los empaques de 20 μ ; y 121, 114, 107, 101, 98, 95, 90, 85 y 81 días para los empaques de 50 μ respectivamente.

Palabra clave: Arrhenius, oxidación de grasas, modelamiento, cinética

ABSTRACT

The shelf life of a food product is the finite period after manufacture and packaging to which a level of quality required and acceptable for final consumption is retained. The objective of the research was to predict the shelf life of 100 % cocoa chocolate packaged in 20 and 50 μ bilaminated aluminum foil containers with respect to peroxide value, using accelerated tests at temperatures of 5, 20 and 35 °C and relative humidity of 65 %. The peroxide value was evaluated by potentiometric titration. The order of the reaction was defined and with the Arrhenius model the degradation rate constant was found for each container and study temperature. Shelf life was determined with the oxidation compound formation kinetics equation at storage temperatures, 0, 5, 10, , 15, 18, 20, 25, 30 and 35 °C at 274, 217, 174, 141, 124, 114, 114, 94, 77 and 64 days for 20 μ packs; and 121, 114, 107, 101, 98, 95, 90, 85 and 81 days for 50 μ packs respectively.

Keyword: Arrhenius, fat oxidation, modeling, kinetics

I. INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un fruto de origen tropical caracterizado por su adaptabilidad en zonas húmedas y cálidas, originario de América del Sur perteneciente a las regiones de la selva amazónica ubicadas por debajo de la cordillera de los Andes donde forman parte países como Perú, Ecuador, Bolivia, Colombia y Venezuela (Grivetti y Shapiro, 2011; Lanaud et al., 2012; Zarrillo et al., 2018). Además, debido a su gran productividad y desarrollo se amplió hasta América Central por los pobladores indígenas mexicanos (mayas, olmecas y aztecas), para luego ser posicionado en el continente asiático, africano, Oceanía y parte del Caribe (López et al., 2020). Debido a su trascendencia y preferencia, es uno de los productos de mayor demanda a nivel industrial, donde Perú destaca como uno de los principales pioneros en producción y exportación (Pastor-Soplín et al., 2022).

Existen tres tipos de variedades de cacao: criollo, forastero y trinitario (Zambrano, 2017; Portillo et al., 2006; Quintero y Díaz, 2004). El cacao criollo se cultiva en regiones cacaoteras de Venezuela, Colombia, Ecuador, México, Perú y Jamaica. El forastero se cultiva en países del continente africano, asiático y sudamericano. El trinitario es producto del cruce genético entre cacao criollo con forastero, el cual fue originario en la isla Trinidad para luego tomar posición en el Caribe, América Latina y el continente africano (Batista, 2009).

Perú es uno de los principales productores de cacao fino de aroma de la variedad criollo y cacao común que corresponde a las variedades de forastero, trinitario y al grupo genético CCN-51(híbrido), que por su calidad viene tomando posición en el mercado nacional e internacional por empresas chocolateras (Jaimez et al., 2022).

En Jaén y sus alrededores, las pequeñas y medianas empresas vienen trabajando con las diferentes variedades de cacao, destacando el criollo por sus excepcionales características organolépticas por lo que es empleado en la elaboración de alimentos de repostería, confitería, licorería y pastelería.

El derivado del cacao de mayor trascendencia es el chocolate, el cual fue descubierto por tribus aztecas e incas de América central y del Sur, que solían preparar los granos de cacao como bebida fría (Barrientos, 2015). Al poco tiempo fue descubierto por el español Hernán Cortés, personaje idóneo que aportó en su extensión hasta Europa, donde dicha bebida tomó posición y popularidad, tomando así la aparición de industrias chocolateras. Vera et al. (2021) mencionan que el chocolate viene formando parte del consumo habitual de los consumidores y para su elección se clasifica de acuerdo al porcentaje de pasta de cacao (amargo, negro, blanco y líquido).

Para la obtención de un chocolate perenne y de calidad, existen múltiples factores que influyen en su estabilidad, por lo que una mala práctica de manufactura influiría perjudicialmente en el producto final, esta acción puede ser provocada desde la recolección de la materia prima hasta la etapa de elaboración (Cajo-Pinche y Díaz-Viteri, 2022). No obstante, la calidad del chocolate también está relacionada con el grano de cacao y el tipo de empaque que se le atribuya (Alvis et al., 2011). Los envases en el ámbito alimentario cumplen una función indispensable, proteger, contener y presentar el producto. El foil de aluminio, es el empaque más utilizado en la industria alimentaria por ser uno de los materiales con alta barrera al vapor de agua, gases y resistencia a la luz. Su grado de impermeabilidad va a depender del espesor del foil (Garcerant, 2015).

En el proceso de elaboración, las operaciones unitarias de conchado y temperado influyen y determinan la calidad del producto final (Barrera, 2019). El conchado, define la textura, reología, sabor, olor, además de cambios químicos como el descenso de acidez, formación

de olores y sabores deseables en el chocolate generados por la conversión de los precursores como la fermentación y el tostado (Jácome, 2015), asimismo permite la eliminación de la humedad y ácidos volátiles, obteniéndose una emulsión perfecta lo cual contribuye a la calidad y untuosidad final del producto (Díaz y Pinoargote, 2012). Es por ello que el conchado se realiza a temperaturas de 50 y 60 °C por un tiempo de 12 y 78 horas según el requerimiento del usuario, se sabe que a mayor tiempo de conchado mejor es la calidad del producto (Medina, 2015). El temperado a su vez, proporciona una correcta cristalización en la manteca de cacao para obtener una adecuada forma polimórfica en su estructura, a fin de proporcionar el brillo correcto, adecuada fusión en la boca, resistencia al rompimiento y mayor vida de anaquel (Yi, 2017). El chocolate presenta en su estructura seis tipos de formas polimórficas (I-VI) producto de la composición y distribución de los triglicéridos en la manteca de cacao que tienden a cristalizarse de acuerdo a las temperaturas empleadas en el proceso de temperado (Alayo, 2022; Furlán et al., 2016). El de tipo V, es el más estable a temperatura ambiente y deseable, ya que le otorga brillo, mayor contracción y mejor resistencia al chocolate frente a la floración de grasas en el transcurso de su vida de anaquel (Chire y Hartel, 2010). Para ello se inicia sometiendo el chocolate en un temperador a 40°C, seguido de un descenso levemente de 28-29°C, finalizando con 31-32°C de temperatura (Perez y Cornejo, 2006). La durabilidad del chocolate depende de factores como elaboración, almacenamiento, humedad relativa, oxígeno, temperatura y empaque (Hidayati et al., 2022), donde la pérdida de calidad está asociada generalmente a la oxidación de las grasas que ocurre mediante una reacción de propagación de radicales libres, en la que a partir de ácidos grasos y oxígeno se van formando peróxidos e hidroperóxidos responsables de la rancidez oxidativa, el cual indica el final de vida del chocolate (Tolve et al., 2022). Por otro lado, también se produce la formación de eflorescencia de grasas en la superficie del chocolate

que son cristales de manteca de cacao de color blanquecina denominado *fat Bloom* (Danzl y Rothkopft, 2016), generado por la separación de fases debido a triglicéridos de alto y bajo punto de fusión y la transformación polimórfica de la grasa, causado por el inadecuado almacenamiento y humedad relativa, en consecuencia de ello disminuye la calidad sensorial del chocolate pero sigue siendo seguro para la salud de las personas (Delbaere et al., 2016).

La vida útil es un periodo finito tras la fabricación y el envasado, durante el cual el producto alimenticio conserva un nivel de seguridad y calidad requerido y aceptable para el consumo (Nicoli, 2012b), que puede variar según el proceso de producción, naturaleza del producto y tiempo de almacenamiento, obteniéndose cambios a niveles microbiológicos, sensoriales y físicos-químicos generando así rechazo en el consumidor final (Castillo y Silva, 2015). Asimismo, conocer la vida útil de los alimentos permite el desarrollo de nuevos productos, el uso de nuevos envases o cambios de formulación (Nicoli, 2012a; Inungaray y Reyes, 2013).

Para garantizar que los productos sean estables hasta la fecha de caducidad, se utilizan pruebas de almacenamiento, dado que estas pruebas necesitan de mucho tiempo y dinero se optan por pruebas de almacenamiento acelerado, en el que pueden ser monitoreados en el tiempo, dando como resultado un estudio de la cinética de las reacciones de los alimentos (Cueva et al., 2023; Tolve et al., 2022; Hidayati et al., 2022; Rosillo et al., 2022). El índice de peróxido es un indicador que se puede utilizar como predictor de calidad durante la vida útil secundaria del chocolate (Chica y Osorio, 2003), a lo largo de su almacenamiento no debe exceder los 10 meq de O₂ activo/kg de grasa o aceite (meq = miliequivalentes), para considerarse apto para el consumo, establecido por el AOAC 965.33 determinación de índice de peróxido en aceites y grasas comestibles.

Los antecedentes que fueron la base de la investigación, son los siguientes:

Rodríguez (2022) desarrolló una metodología alternativa para estimar la vida útil del chocolate mediante pruebas aceleradas, en el que aplicó temperaturas de almacenamiento de 20, 25 y 30 °C, durante un tiempo de 56, 42 y 10 días, evaluando los muestreos cada 7, 3 y 1 día, respectivamente; empleó como indicadores de deterioro, la humedad, acidez oleica e índice de peróxido; por el cual los resultados mostraron que no se produjo cambios estadísticamente significativos en los tres parámetros analizados, que adujeron a la inestabilidad de las temperaturas de almacenamiento por lo que no fue suficiente para que establezcan una metodología que permita calcular la vida útil del chocolate.

Lucero (2019) estimó la cinética de una pre mezcla de cacao en polvo, elaborado en bebidas chocolatadas, donde utilizó muestras de tres lotes diferentes almacenados a temperatura ambiente en empaques de polietileno desde el día 0, 21, 49 y 70; como resultado obtuvo una tendencia de incremento en cuanto a humedad, peróxido, ácidos grasos libres y la aparición de bacterias aerobios mesófilos, con respecto al tiempo de almacenamiento; finalmente, mediante el análisis estadístico de varianza de regresión lineal con modelo cinético de orden cero, concluyó que dichos factores son alterados debido a la presencia de altas cantidades de ácidos grasos libres, dando a determinar una vida útil de 628, 544 y 510 días por cada lote examinado.

Nurhayati et al. (2018) evaluaron la vida útil de la bebida de cacao en polvo mediante pruebas aceleradas, empacado en una película metalizada de 51.89 μ de diámetro; demostraron, que el producto almacenado a 28 °C con humedad relativa (HR) de 75 % tuvo un contenido de humedad crítica de 4.01 % y una permeabilidad de empaque $\frac{0.02g H_2O}{m^2 \text{ día} \cdot mm Hg}$, (límite permisible) estimando una vida de anaquel de 16.4 meses; asimismo, el chocomix se ve afectado por el empaque, mientras mayor sea la capacidad

de envase, mejor retendrá el vapor de agua, haciendo que el producto tenga una vida útil más prolongada.

Paternina et al. (2018) determinaron la vida útil de pasta de ajonjolí azucarada combinada con plasma sanguíneo de bovino, mediante pruebas aceleradas, para ello, trabajaron con temperaturas de 15, 25 y 35 °C de almacenamiento por un tiempo de 80 días, cuyas formulaciones fueron de 70 y 80 % de ajonjolí; emplearon el índice de peróxido (IP) como indicador de calidad y el modelo de Arrhenius para determinar la vida útil; donde, demostraron que la pasta de 70 % ajonjolí presentó mejores características de vida de anaquel a 15 y 25 °C con tiempos de 108 y 144 días respectivamente, teniendo una cinética de reacción de orden cero.

Girano (2018) evaluó la influencia del tipo de envase en la vida de anaquel de la crema de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) para consumo humano, en el cual, trabajó con pruebas aceleradas, empleando temperaturas de 15, 25 y 35 °C de almacenamiento y tomó como indicador el IP evaluando cada 7 días por 3 meses; los resultados dieron que el IP de las muestras envasadas en polipropileno fue de 15.63 meq de O₂ activo/Kg grasa a 15 °C, 18.69 meq de O₂ activo/Kg grasa a 25 °C y 31.06 meq de O₂ activo/Kg grasa a 35 °C; estos datos, llevados al modelo de Arrhenius en el $Q_{10} = 1.405$, fue de $t_f = 30.630 e^{-0.55T}$ (t_f = tiempo final, T = temperatura), lo cual indicó que el tiempo de vida útil de la crema sachá inchi en empaque de polipropileno es menor que el envase de vidrio.

Rodriguez et al. (2017) estudiaron la influencia de la combinación de edulcorantes y la temperatura de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas de chocolate blanco sin sacarosa, para ello, emplearon temperaturas de 7 y 30 °C durante 100 días de almacenamiento del chocolate, donde formulaciones de 100 % sucralosa y 50 % sacarosa + 50 % sucralosa, presentaron un aumento de microestructuras de bloom de grasa y azúcar extendiéndose fácilmente a la superficie; asimismo, estadísticamente muestras de 50 %

sacarosa + 50 % sucralosa tuvieron un alto índice de peróxido, y muestras de 100 % estevia y 100 % sucralosa obtuvieron bajos índices de peróxidos; concluyeron que la sustitución parcial o total de sacarosa influye mucho sobre los porcentajes de formación de bloom, humedad e índice de peróxido en el chocolate.

Mendoza (2017) desarrolló muffins de chocolate con relleno de mermelada de kiwi enriquecida con espirulina (*Arthrospira plantensis*), en donde trabajó con tres experimentos; el primero, para determinar el mejor porcentaje de espirulina (0.5, 1.0, 1.5 %) en el enriquecimiento de mermelada de kiwi, donde el tratamiento con 1.0 % de espirulina fue el que presentó mejores características organolépticas; el segundo, para determinar el mejor porcentaje de mermelada de kiwi (10, 15 y 20 %) en el muffins, donde la variable con 15 % de mermelada presentó buenas características organolépticas; el tercero, empleando pruebas aceleradas (temperaturas de 25, 35 y 45 °C) evaluaron la humedad y aplicando el método de Arrhenius, determinaron que la vida útil de los muffins de chocolate con relleno de mermelada de kiwi, tuvieron una duración de 7 días almacenado a 20 °C (temperatura óptima de almacenamiento de los muffins).

Torres y Zaldaña (2017) determinaron la vida de anaquel de la horchata de morro elaborada artesanalmente y evaluaron la influencia del empaque en la conservación del producto, hicieron uso de pruebas aceleradas con tres diferentes empaques (polipropileno no orientado - PP, polietileno de baja densidad y tereftalato de polietileno – PET laminado) y emplearon el modelo de Arrhenius, con parámetros de humedad e índice de acidez; los investigadores concluyeron que a condiciones de 50 % de humedad durante 40 días, la horchata de morro presentó mayor vida útil en empaques de PP con 139 días (indicador humedad), mientras que el PET laminado presentó mejor resultado (indicador acidez) con 129 días; en conclusión, consideraron que ambos empaques son aptos para la conservación de dicho producto.

Barboza y Yoelinson (2016) determinaron la vida útil de una bebida achocolatada mediante pruebas aceleradas por temperatura utilizando el método de Arrhenius. Evaluaron 60 litros de bebida almacenada a 8 y 14 °C, aplicaron un panel de 25 jueces entrenados y realizaron análisis microbiológicos y fisicoquímicos; asimismo, emplearon los coeficientes de Pearson y regresión lineal para determinar el deterioro de aroma ácido y la variable de deterioro del producto; reportaron que a las temperaturas de 8 y 14 °C la vida útil de la bebida achocolatada fue de 14 y 5 días respectivamente.

Castillo y Silva (2015) evaluaron la vida de anaquel de chocolate de taza mediante pruebas aceleradas en dos tipos de empaque, para ello, trabajaron con temperaturas, humedad relativa e índice de peróxido; donde usando el método fisicoquímico determinaron que los chocolates almacenados a 18 °C y 80 % HR, empacados con propileno cast y bolsa de aluminio con barrera de polietileno tuvieron 135 y 148 días de longevidad, mientras que por el método estadístico de función de riesgo, tuvieron una vida útil de 117 y 124; por lo que concluyeron que los tiempos de vida del chocolate dependió del método y tipo de empaque empleado.

Chica y Osorio (2003) determinaron la vida útil de chocolate sin azúcar en dos tipos de envase, empleando pruebas aceleradas, para ello, trabajaron con temperaturas de almacenamiento de 20 y 25 °C y con humedad relativa de 80 y 90 %. A estas condiciones y aplicando el método de Arrhenius, determinaron que el chocolate tuvo una actividad de agua (A_w) de 0.7 y 0.6; permeabilidad de empaque de $\frac{4.78 \times 10^{-3} g \cdot \mu}{Pa \cdot m^2} día$ y $\frac{9.754 \times 10^{-3} g \cdot \mu}{Pa \cdot m^2} día$; velocidad de deterioro de 2.99 veces cada aumento de 10 °C y un tiempo de vida útil de 226.22 y 118.82 días respectivamente; con los resultados, concluyeron que la A_w aumenta a medida que mayor es la humedad relativa, la película

de polipropileno biorientado tiene baja permeabilidad y la rancidez del chocolate ocurre de manera lenta.

La problemática de la investigación se centró en determinar la vida útil del chocolate, se sabe que la conservación de los alimentos ha cobrado gran importancia en el cuidado de la salud de las personas, conocer el tiempo de duración de un alimento conlleva a tomar precauciones para minimizar el riesgo de contraer enfermedades por el consumo de alimentos deteriorados. Por tanto, el aseguramiento de la calidad de los alimentos es un desafío que concierne tanto a productores como a consumidores (Landeo, 2019).

El chocolate es un producto que tiene un amplio mercado en sus diferentes presentaciones, por el cual su durabilidad se ve afectado principalmente por las condiciones de almacenamiento y factores ambientales (temperatura, humedad relativa, oxígeno, luz y otros) que degradan las grasas provocando su deterioro, manifestándose en rancidez oxidativa (Castillo y Silva, 2015). Esto es un desafío para muchos productores de chocolate, puesto que deben realizar un estudio de durabilidad de su producto para evitar que los consumidores corran el riesgo de consumir productos deteriorados que atenten contra su salud. Tradicionalmente, para determinar la vida útil in situ de un producto se emplea el método directo, que consiste en someter a un alimento a condiciones parecidas a las que se enfrentará en la realidad, aplicando intervalos de tiempo regulares para monitorear su evolución, de tal manera que determina de forma exacta el tiempo de duración de un producto, sin embargo, necesitan de mucho tiempo y dinero, por lo que les limita realizar este tipo de análisis a empresas que están en crecimiento o productos nuevos que se ofertarán al mercado (Biotecnologías Aplicadas, 2022).

Por ende, la justificación del estudio se basó en la necesidad de determinar la vida útil del chocolate siendo un requerimiento indispensable en la etapa de almacenamiento, esto nos

posibilita conocer la relación del proceso con su calidad y mecanismo de deterioro, este último, es producido generalmente por la oxidación de las grasas que puede ser medido por el índice de peróxido, siendo uno de los puntos más críticos que presenta la industria chocolatera al momento de almacenar el producto. Este deterioro produce en el chocolate la modificación en sus cualidades organolépticas, pérdidas de nutrientes (vitaminas liposolubles y ácidos poliinsaturados) y generación de sustancias peligrosas, que tiene como resultado la reducción de su vida útil. Existen métodos que pueden controlar dicho acontecimiento, uno de ellos son las pruebas de vida útil acelerada (ASLT), se basan en modificar las condiciones ambientales como temperatura, humedad relativa o presión de oxígeno para acelerar las reacciones de deterioro de un alimento durante un periodo de tiempo y de operación controlada, que permiten obtener datos de forma rápida, que modelados y analizados adecuadamente predicen la vida útil de un alimento bajo condiciones normales de uso. Estos estudios se realizan en menor tiempo y bajos costos (BTSA Biotecnologías Aplicadas, 2022). Para ello, se trabaja con el modelo de Arrhenius uno de los mecanismos más utilizados en la industria alimentaria para simular la degradación de los productos en un rango de temperaturas. Predice las constantes de la rapidez de reacción y la vida útil de los alimentos a cualquier temperatura, imprescindible para evaluar la calidad e inocuidad de los mismos.

El estudio hace uso del ASLT, donde se consideran tres temperaturas de aceleración 5, 20 y 35 °C; el chocolate se almacena entre 15 y 18 °C como condición natural recomendada, las temperaturas de 20 y 35 °C se consideran condiciones de aceleración de la oxidación de grasas, asimismo se establece 5 °C como condición de aceleración de almacenamiento para el chocolate, debido a que una variación brusca de temperatura provoca la aparición del *fat bloom* en un tiempo prematuro (Delbaere et al., 2016, Afoakwa et al., 2009a, Altimiras et al., 2007), además acelera la velocidad de auto

oxidación y mecanismos de reacción (Afoakwa et al., 2009b), no obstante humedades superiores al 75 % provocan la aparición de este fenómeno, que en chocolates con azúcar se le denomina *sugar bloom* (Afoakwa et al., 2008).

Por lo tanto, la investigación ayudará a las empresas chocolateras a determinar la durabilidad de sus productos en corto tiempo y costos reducidos, proteger la salud y bienestar de los consumidores, y promover el crecimiento del comercio local y nacional (Chica y Osorio, 2003). Asimismo, el estudio beneficiará a la industria chocolatera que busca de manera frecuente obtener un costo añadido del cacao por medio de conocer la vida útil del producto final, esto les permitirá a las empresas ofrecer presentaciones comerciales de chocolate a mercados más exigentes y con costos más competitivos, generando en la sociedad más trabajo y aumento de sus recursos.

El estudio tuvo como objetivo general predecir la vida útil del chocolate 100 % cacao, mediante pruebas aceleradas en base al índice de peróxido como descriptor de calidad; asimismo, como objetivos específicos fue evaluar el índice de peróxido de chocolate envasado en foil de aluminio bilaminado de 20 y 50 μ , almacenado a 5, 20 y 35 °C con humedad relativa de 65 %; aplicar la ecuación de Arrhenius para determinar la constante de velocidad de degradación del chocolate en base al índice de peróxido; y determinar la vida útil de chocolate.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Lugar de ejecución

El proyecto de investigación se ejecutó en el área de Tecnologías Emergentes del Laboratorio de Ingeniería de Alimentos y Poscosecha de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

2.2. Población, muestra y muestreo

2.2.1. Población

Producción semanal de chocolate 100 % cacao de 100 g, envasado en foil de aluminio bilaminado de 20 y 50 μ , de la empresa Agrotec – Jaén, Cajamarca del año 2023.

2.2.2. Muestra

Veinticuatro tabletas de chocolate 100 % cacao de 100 g, envasados en la misma proporción en foil de aluminio bilaminado de 20 y 50 μ respectivamente.

2.2.3. Muestreo

Se realizó un muestreo aleatorio en el almacén de la producción semanal de chocolate, donde doce tabletas fueron envasados en foil de aluminio bilaminado de 20 μ y doce tabletas más en foil de aluminio bilaminado de 50 μ sin presentar rompimiento de empaque.

2.3. Métodos, técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos

2.3.1. Métodos, técnicas y procedimientos

La investigación se realizó en tres fases: pruebas aceleradas, determinación de índice de peróxido y determinación de vida útil (Rosillo et al., 2022).

Pruebas aceleradas: las muestras conformadas por 24 tabletas de chocolate 100 % cacao de 100 g, 12 envasados en foil de aluminio bilaminado de 20 μ y 12 tabletas más envasados en foil de aluminio bilaminado de 50 μ debidamente rotulados (Figura 8), fueron almacenados a tres temperaturas: refrigeración 5 °C (Figura 9), ambiente 20 °C (Figura 10) y estufa 35 °C (Figura 11), con una humedad relativa de 65 %. Las evaluaciones se realizaron cada 5 días durante 15 días de almacenamiento.

Determinación del índice de peróxido: primero, se realizó la extracción de la grasa del chocolate basado en la NTP 208.016: 2021 Grasa en productos del cacao. Método de extracción soxhlet. Para ello, se trituro 5 g de muestra (Figuras 12, 13 y 14) y se colocó en un cartucho de papel de filtro lento (Figura 15) y se llevó al equipo soxhlet usando como solvente éter de petróleo (Figura 16), donde la muestra extraída (aceite + éter de petróleo) se llevó a una estufa a 75 °C por 15 minutos para eliminar los residuos del solvente (Figura 17). Segundo, una vez extraído el aceite del chocolate (Figura 18), se procedió a evaluar el índice de peróxido por titulación potenciométrica aplicando la NTP 209.006: 2016 Determinación de índice de peróxido en aceites y grasas comestibles. Se colocó 0.5 g de grasa en un erlenmeyer de 100 ml (Figuras 19 y 20) y se llevó a una plancha de calentamiento a 40 °C por 1 minuto aproximadamente (Figura 21).

Luego, se adicionó 3 ml de solución de ácido acético y cloroformo en proporción 3:2, se tapó y se disolvió en la solución (Figura 22). Después, se agregó 0.05 ml de solución saturada de yoduro de potasio, se mezcló y se dejó actuar por 5 minutos en oscuridad (Figura 23). Pasado ese tiempo, se añadió 3 ml de agua destilada (Figura 24), se removió en la solución y se tituló la muestra con tiosulfato de sodio al 0.01 N, agregándose gradualmente y en agitación vigorosa hasta desaparecer el color amarillento que presentó la muestra (Figuras 25). Posteriormente, se adicionó 0.05 ml de solución de almidón indicador (Figura 26) y se continuó agitando el frasco vigorosamente para liberar todo el yodo de la solución en cloroformo sedimentado y se agregó tiosulfato de sodio gota a gota hasta que el color azul haya desaparecido (Figuras 27 y 28).

Simultáneamente se procedió a una determinación en blanco de los reactivos. Finalmente, con los resultados obtenidos se calculó el valor del índice de peróxido como miliequivalente de peróxido por 1000 g de muestra. Para ello, se aplicó la siguiente fórmula:

$$IP = \frac{1000 (V - V_0) N}{M}$$

Donde:

IP: índice de peróxido en meq de O₂ activo/kg aceite.

V: volumen de solución de tiosulfato de sodio en mililitros, consumido en el ensayo de la muestra.

V_0 : volumen de solución de tiosulfato de sodio en mililitros, consumido en el blanco.

N : normalidad de la solución de tiosulfato de sodio.

M : masa de la muestra en gramos.

Determinación de vida útil: empleando las pruebas aceleradas, se evidenció el aumento del índice de peróxido en los chocolates durante su almacenamiento, los datos obtenidos se sistematizaron en una matriz de datos, y mediante una regresión lineal se calculó el coeficiente de determinación (R^2), con el cual se determinó el orden de reacción de la cinética de deterioro para formación de compuestos de oxidación entre cero o uno. Obtenido el orden de la reacción se procedió a graficar una segunda regresión haciendo uso de las pendientes y la temperatura. Por consiguiente, la segunda reacción se ajustó al modelo de Arrhenius linealizado, de donde se obtiene la energía de activación (Ea) y el factor pre exponencial (K_0), variables que ayudan para encontrar la constante de velocidad de deterioro (K). El modelo de Arrhenius muestra la dependencia de la velocidad de reacción de deterioro con respecto a la temperatura (ecuaciones 1 y 2).

$$K = K_0 e^{-\left(\frac{Ea}{RT}\right)} \quad (1)$$

$$\ln K = -\left(\frac{Ea}{R}\right) \frac{1}{T} + \ln[K_0] \quad (2)$$

Donde:

T = temperatura absoluta

$R =$ Constante de los gases (1.986 cal/mol °K)

Para determinar la vida útil del chocolate, se obtuvo introduciendo la tasa de deterioro en la ecuación (3) y ecuación (4) de la cinética de deterioro de orden cero o uno según el resultado para formación de compuestos de oxidación.

$$\text{Orden 0} \quad t = \frac{A - A_0}{K} \quad (3)$$

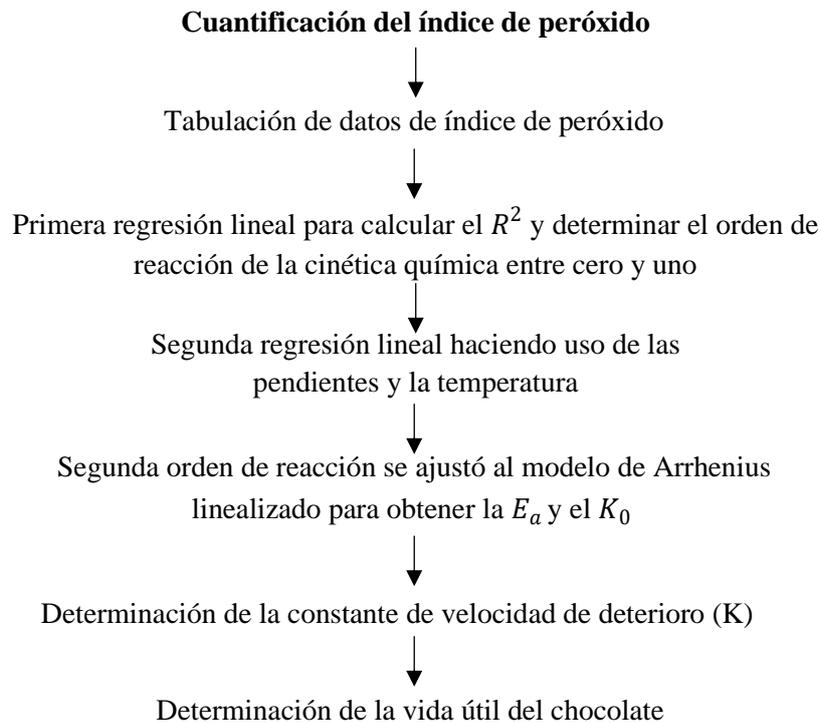
$$\text{Orden 1} \quad t = \frac{\ln A - \ln A_0}{K} \quad (4)$$

Donde t es el tiempo de vida útil, K la constante de cinética de deterioro, A_0 el valor inicial del índice de peróxido y A el límite de aceptabilidad del índice de peróxido. No obstante, se consideró que el chocolate no está dentro de los límites permisibles si el valor de A es mayor a 10 meq de O_2 activo/Kg de grasa (AOAC 965.33).

A continuación, en la figura 1 se muestra detalladamente los pasos para determinar la vida útil del chocolate.

Figura 1

Flujograma para la determinación de la vida útil del chocolate



2.3.2. Recolección de datos

Los datos se recolectaron mediante la determinación de índice de peróxido en ensayos de laboratorio. Los datos fueron tabulados en una matriz elaborada en el software Excel.

2.4. Diseño experimental

Se realizó un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial de 2A x 3B x 4C, donde A son los tipos de envase de 2 niveles (foil de aluminio bilaminado de 20 y 50 μ), B las temperaturas de evaluación de 3 niveles (5 °C, 20 °C y 35 °C) y

C los días de almacenamiento de 4 niveles (0, 5, 10 y 15 días), siendo un total de 24 tratamientos que equivale a: $2 \times 3 \times 4 = 24$. Asimismo, considerando las 3 repeticiones se tuvo un total de 72 unidades experimentales (que equivale a: $24 \times 3 = 72$), tal como se muestra en la Tabla 1.

Donde:

Tipos de envase

- A1: foil de aluminio bilaminado 20 μ
- A2: foil de aluminio bilaminado 50 μ

Temperaturas de evaluación

- B1: 5 °C
- B2: 20 °C
- B3: 35 °C

Días de almacenamiento

- C1: día 0
- C2: día 5
- C3: día 10
- C4: día 15

Tabla 1*Diseño experimental para la lectura de índice de peróxido del chocolate*

Tratamientos	Nomenclatura	Descripción	Repeticiones		
T ₁	A1B1C1	Fab 20 μ, 5 °C, día 0	R ₁	R ₂	R ₃
T ₂	A1B1C2	Fab 20 μ, 5 °C, día 5	R ₁	R ₂	R ₃
T ₃	A1B1C3	Fab 20 μ, 5 °C, día 10	R ₁	R ₂	R ₃
T ₄	A1B1C4	Fab 20 μ, 5 °C, día 15	R ₁	R ₂	R ₃
T ₅	A1B2C1	Fab 20 μ, 20 °C, día 0	R ₁	R ₂	R ₃
T ₆	A1B2C2	Fab 20 μ, 20 °C, día 5	R ₁	R ₂	R ₃
T ₇	A1B2C3	Fab 20 μ, 20 °C, día 10	R ₁	R ₂	R ₃
T ₈	A1B2C4	Fab 20 μ, 20 °C, día 15	R ₁	R ₂	R ₃
T ₉	A1B3C1	Fab 20 μ, 35 °C, día 0	R ₁	R ₂	R ₃
T ₁₀	A1B3C2	Fab 20 μ, 35 °C, día 5	R ₁	R ₂	R ₃
T ₁₁	A1B3C3	Fab 20 μ, 35 °C, día 10	R ₁	R ₂	R ₃
T ₁₂	A1B3C4	Fab 20 μ, 35 °C, día 15	R ₁	R ₂	R ₃
T ₁₃	A2B1C1	Fab 50 μ, 5 °C, día 0	R ₁	R ₂	R ₃
T ₁₄	A2B1C2	Fab 50 μ, 5 °C, día 5	R ₁	R ₂	R ₃
T ₁₅	A2B1C3	Fab 50 μ, 5 °C, día 10	R ₁	R ₂	R ₃
T ₁₆	A2B1C4	Fab 50 μ, 5 °C, día 15	R ₁	R ₂	R ₃
T ₁₇	A2B2C1	Fab 50 μ, 20 °C, día 0	R ₁	R ₂	R ₃
T ₁₈	A2B2C2	Fab 50 μ, 20 °C, día 5	R ₁	R ₂	R ₃
T ₁₉	A2B2C3	Fab 50 μ, 20 °C, día 10	R ₁	R ₂	R ₃
T ₂₀	A2B2C4	Fab 50 μ, 20 °C, día 15	R ₁	R ₂	R ₃
T ₂₁	A2B3C1	Fab 50 μ, 35 °C, día 0	R ₁	R ₂	R ₃
T ₂₂	A2B3C2	Fab 50 μ, 35 °C, día 5	R ₁	R ₂	R ₃
T ₂₃	A2B3C3	Fab 50 μ, 35 °C, día 10	R ₁	R ₂	R ₃
T ₂₄	A2B3C4	Fab 50 μ, 35 °C, día 15	R ₁	R ₂	R ₃

Nota. Fab (Foil de aluminio bilaminado).

2.5. Análisis estadístico de datos

Los experimentos se realizaron por triplicado y los resultados del índice de peróxido se expresaron como medias \pm desviación estándar de tres repeticiones. Asimismo, se empleó un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial de 2A x 3B x 4C, que fueron analizados estadísticamente con dos factores del arreglo A y

B utilizando ANVA mediante el software Python (Anexo 4). Las muestras obtuvieron diferencias estadísticas evaluadas para las temperaturas y tipo de empaque, dado que entre los objetivos del estudio se consideró evaluar estos parámetros, no obstante, el tiempo de almacenamiento se consideró implícito en el análisis del arreglo de dos factores.

III. RESULTADOS

3.1. Determinación del índice de peróxido de chocolate

3.1.1. Índice de peróxido inicial

Las muestras de chocolate en envase bilaminado de 20 y 50 μ en la condición inicial para las tres temperaturas a 5, 20 y 35 °C obtuvieron un índice de peróxido de 1.12 ± 0.08 y 1.18 ± 0.01 meq de O₂ activo/Kg de grasa respectivamente tal como se muestra en la Tabla 2.

3.1.2. Resultados del índice de peróxido luego de las pruebas de vida útil acelerada (ASLT)

En la Tabla 2 se muestran los resultados de la evaluación del índice de peróxido considerando las temperaturas, empaque y tiempo de almacenamiento, donde se observa variaciones entre 0.53 ± 0.19 a 2.80 ± 1.84 meq O₂ activo/Kg de grasa correspondiente a los tratamientos de 35 °C en el envase de 20 μ en el día 5 de evaluación y 35 °C en el envase de 50 μ en el día 15 día de evaluación respectivamente.

Tabla 2

Medias y desviación estándar de los valores de índice de peróxido del chocolate

Días	5°C		20°C		35°C	
	Bilaminado		Bilaminado		Bilaminado	
	20 μ	50 μ	20 μ	50 μ	20 μ	50 μ
0	1.12±0.08	1.18 ±0.01	1.12±0.08	1.18±0.01	1.12 ±0.08	1.18±0.01
5	1.00±0.16	0.60 ±0.33	0.67 ±0.09	0.87 ±0.25	0.53 ±0.19	0.73 ±0.19
10	0.67±0.25	2.13 ± 1.09	1.27 ± 1.24	0.80 ±0.16	1.60 ±0.86	1.47 ±0.25
15	1.8±0.28	2.00 ±0.99	2.80 ±0.86	2.66 ±0.84	2.66 ±0.52	2.80 ± 1.84

La Tabla 3, muestra los resultados del ANVA donde el valor p es mayor al nivel de significancia 0.05, en el cual se confirma que no existe una diferencia significativa sobre el índice de peróxido del chocolate 100 % cacao, respecto a la temperatura de almacenamiento y tipo de empaque. Asimismo, no se detecta una interacción significativa entre ellos.

Tabla 3 *Análisis de varianza (ANVA) de dos factores*

Índice	Fuente de variabilidad	Suma de Cuadrados (SS)	Grados de libertad (DF)	Cuadrados medios (MS)	F calculado	Valor P (p-unc)
0	Temperatura	0.4821	2	0.2411	0.2413	0.7867
1	Empaque	0.2008	1	0.2008	0.2010	0.6554
2	Temperatura*Empaque	0.5334	2	0.2667	0.2670	0.7665
3	Residual	65.9279	66	0.9989	NaN	NaN

3.2. Determinación de la vida útil del chocolate

3.2.1. Orden de reacción

Al obtener los datos de incremento del índice de peróxido para cada temperatura de almacenamiento y tipo de envase (Tablas 2, 10, 11 y 12); se determinó el orden de reacción de cinética química de la formación de compuestos de oxidación, seleccionada como de orden cero, por el mayor valor del R^2 en comparación con el de orden uno, tal como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4

Determinación del orden de reacción según el índice de peróxido

Descriptor	T °C	Presentación	Orden de reacción	Regresión lineal	R^2	Selección	Figuras
Índice de peróxido	5	Bilaminado 20 μ	0	$y = 0.0343x + 0.8879$	0.2163	✓	29
		Bilaminado 20 μ	1	$y = 0.0205x - 0.0815$	0.1049	X	
		Bilaminado 50 μ	0	$y = 0.0795x + 0.8819$	0.5081	✓	30
		Bilaminado 50 μ	1	$y = 0.0568x - 0.1493$	0.3892	X	
	20	Bilaminado 20 μ	0	$y = 0.1128x + 0.6152$	0.6186	✓	31
		Bilaminado 20 μ	1	$y = 0.0679x - 0.2675$	0.5467	X	
		Bilaminado 50 μ	0	$y = 0.0875x + 0.7219$	0.418	✓	32
		Bilaminado 50 μ	1	$y = 0.0471x - 0.1582$	0.3053	X	
	35	Bilaminado 20 μ	0	$y = 0.1142x + 0.6214$	0.6665	✓	33
		Bilaminado 20 μ	1	$y = 0.0742x - 0.3238$	0.5011	X	
		Bilaminado 50 μ	0	$y = 0.1116x + 0.7083$	0.6568	✓	34
		Bilaminado 50 μ	1	$y = 0.0655x - 0.174$	0.5781	X	

3.2.2. Energía de activación (E_a) y factor pre exponencial (K_0)

Para elaborar la Tabla 5, se extraen los valores de T° y K (pendiente de cada gráfico de orden cero) procedentes de la tabla 4, por lo cual se obtiene los valores de $\ln K$ y $1/T$ para cada envase.

Tabla 5

Datos de $1/T$ vs $\ln K$ para cada tipo de envase

Envase bilaminado	$T^\circ\text{C}$	K	$1/T$	$\ln K$
20 μ	5	0.0343	0.0036	-3.3740
	20	0.1128	0.0034	-2.1820
	35	0.1142	0.0033	-2.1697
50 μ	5	0.0795	0.0036	-2.5323
	20	0.0875	0.0034	-2.4362
	35	0.1116	0.0033	-2.1931

Las Figuras 2 y 3, se graficaron a partir de los datos de la Tabla 5, donde se ajustaron al modelo de Arrhenius linealizado, (ecuación 2), para lo cual el $\ln K$ es la ordenada y $1/T$ es la abscisa, obteniendo el valor de E_a (Tabla 6) y K_0 (Tabla 7) para cada tipo de envase.

Figura 2

Relación entre Ln K con 1/T del chocolate para envase de 20 μ

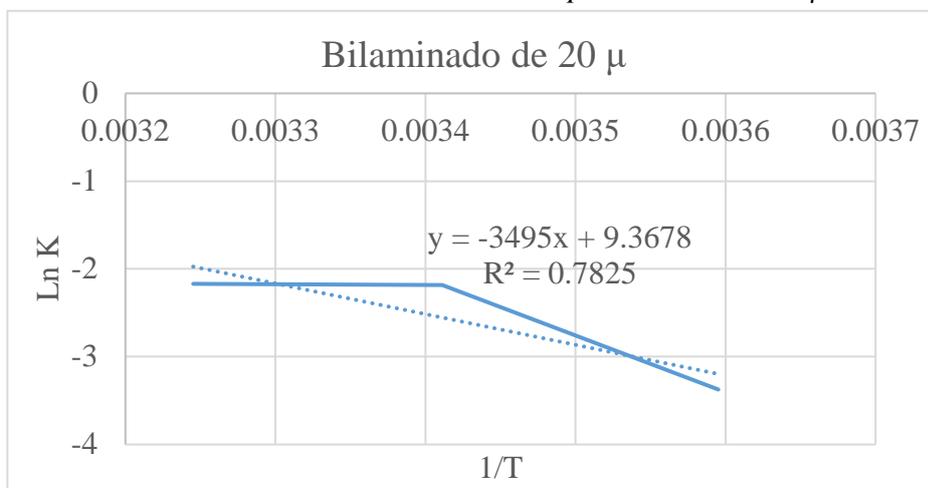
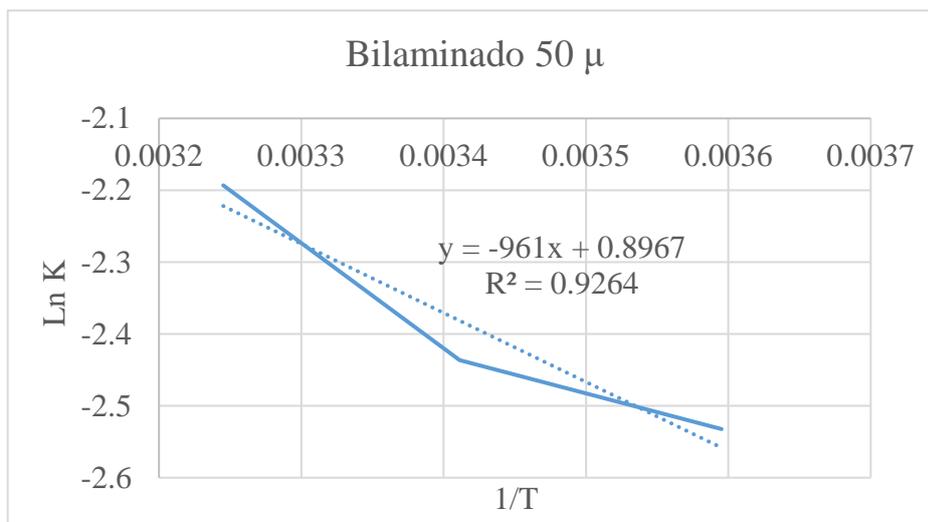


Figura 3

Relación entre Ln K con 1/T del chocolate para envase de 50 μ



La Tabla 6, muestra los valores de E_a para cada envase, los cuales se determinaron a partir del valor de las pendientes expresadas en las Figura 2 y 3, siendo R , la constante universal de los gases ideales.

Tabla 6*Valores de $-E_a/R$ y E_a para cada tipo de envase*

Envase bilaminado	$-E_a/R$	R (cal/mol. $^{\circ}$ K)	E_a (cal/mol. $^{\circ}$ K)
20 μ	-3495	1.986	6941.07
50 μ	-961	1.986	1908.55

La Tabla 7, muestra los valores de $\ln K_0$ y K_0 para cada envase, que se determinaron igualando al intercepto de las regresiones expresadas en la Figura 2 y 3.

Tabla 7*Valores de $\ln K_0$ y K_0 para cada tipo de envase*

Envase bilaminado	$\ln K_0$	K_0
20 μ	9.3678	11705.34
50 μ	0.8967	2.4515

3.2.3. Constante de cinética de deterioro (K) y vida útil

En la Tabla 8, se muestran los valores de la constante de cinética de deterioro K para cada temperatura y tipo de empaque del experimento que se determinó con la E_a y K_0 ajustada a la ecuación (2). En consecuencia, la predicción del tiempo de la vida útil del chocolate para cada envase se determinó haciendo uso de la ecuación de cinética de orden cero para formación de compuestos de oxidación, ecuación (3), donde A_0 es el valor inicial del índice de peróxido y A el límite de aceptabilidad del índice de peróxido igual a 10.

Tabla 8*Valores de K y vida útil para cada temperatura de estudio y tipo de envase*

Tipo de empaque	Temperatura de almacenamiento	K (días ⁻¹)	t (días)
Bilaminado 20 μ	5 °C o 278.15 °K	0.0409	217
	20 °C o 293.15 °K	0.0777	114
	35 °C o 308.15 °K	0.1389	64
Bilaminado 50 μ	5 °C o 278.15 °K	0.0774	114
	20 °C o 293.15 °K	0.0924	95
	35 °C o 308.15 °K	0.1084	81

En la Tabla 9, se muestra los valores de K y vida útil para diferentes temperaturas de almacenamiento comunes en anaquel; que se determinaron con la E_a y K_0 ajustada a la ecuación (2), además la predicción de la vida útil para cada envase y temperatura propuesta se determinó haciendo uso de la ecuación de cinética de orden cero para formación de compuestos de oxidación, ecuación (3), donde el límite de aceptabilidad es 10.

Asimismo, se observa que a medida que la temperatura de almacenamiento aumenta, la constante de velocidad de degradación (K) también aumenta y el tiempo de vida útil disminuye. Esas tendencias se evidencian tanto para los empaques de 20 y 50 μ. Por otra parte, los tiempos de vida útil obtenidos para el envase de 20 μ son mayores que de 50 μ, incluso para algunas temperaturas es por poco el doble, tal es el caso, que para 0 °C de almacenamiento obtienen 274 y 141 días de vida útil para el envase de 20 y 50 μ respectivamente. En ambos empaques se muestra que para las temperaturas de 25 y 30 °C los tiempos de vida útil son cercanos. Considerando que a fluctuaciones de bajas y altas temperaturas el chocolate presenta *fat Bloom* (Castillo y Silva, 2015; Gatti et al., 2021) afectando su

calidad física, se propone conservar el chocolate a temperatura entre 15 y 18 °C en el empaque de 20 μ , alcanzando una vida útil entre 141 y 124 días.

Tabla 9

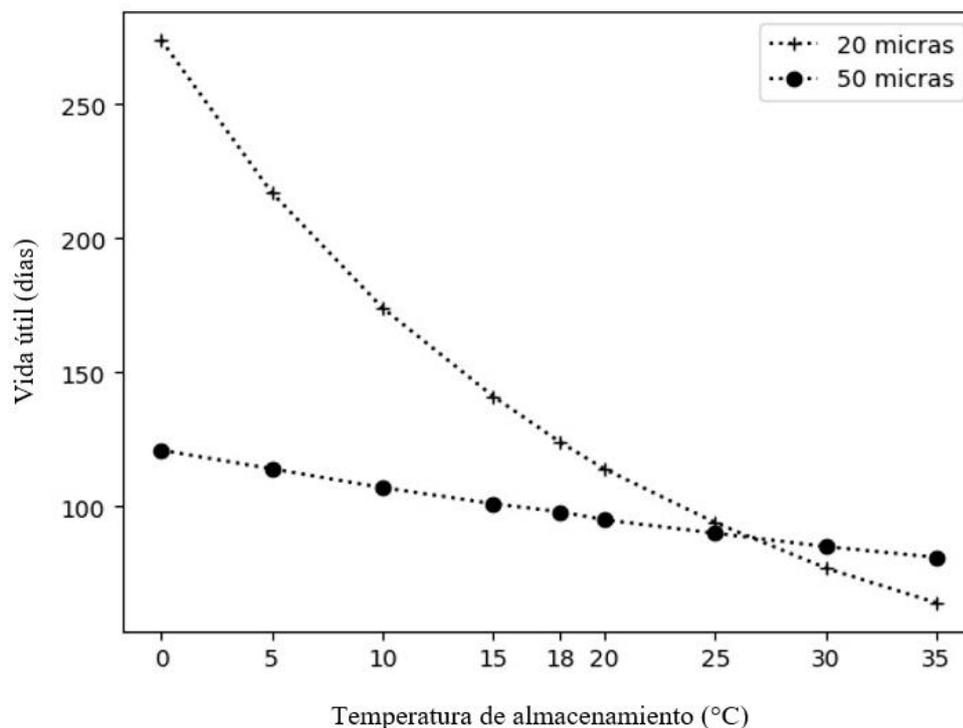
Valores de K y vida útil para cada temperatura calculada y tipo de envase

Tipo de empaque	Temperatura de almacenamiento	K (días ⁻¹)	t (días)
Bilaminado 20 μ	0 °C o 273.15 °K	0.0325	274
	10 °C o 283.15 °K	0.0510	174
	15 °C o 288.15 °K	0.0632	141
	18 °C o 291.15 °K	0.0716	124
	25 °C o 298.15 °K	0.0949	94
	30 °C o 303.15 °K	0.1152	77
	Bilaminado 50 μ	0 °C o 273.15 °K	0.0727
10 °C o 283.15 °K		0.0823	107
15 °C o 288.15 °K		0.0873	101
18 °C o 273.15 °K		0.0903	98
25 °C o 298.15 °K		0.0976	90
30 °C o 303.15 °K		0.1030	85

En la Figura 4, se observa los perfiles del tiempo de vida útil del chocolate envasado en foil de aluminio bilaminado de 20 y 50 μ con respecto a la temperatura de almacenamiento, donde se evidencia que el envase de menor micraje reporta mayor tiempo de vida útil en las temperaturas de estudio y predecidas. Las diferencias mostradas hacen referencia a la relevancia de la investigación donde se infiere que a menor espesor del envase se tiene un mayor tiempo de vida útil, consecuencia de las propiedades de barrera de cada tipo de empaque.

Figura 4

Vida útil determinada en función de la temperatura de almacenamiento



3.2.4. Estadística descriptiva mediante Box-plot

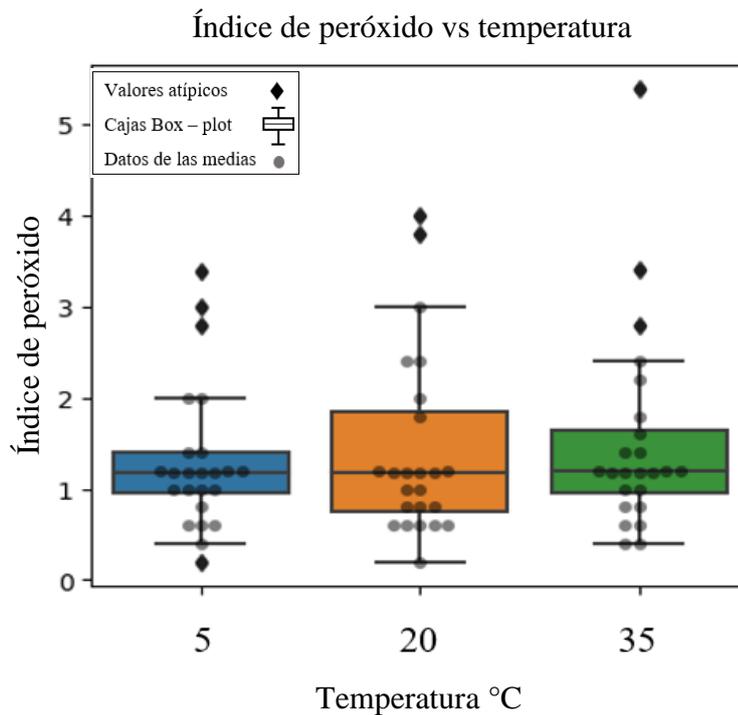
Se elaboraron diagramas de Box – plot para determinar si existen diferencias notables en la homogeneidad, valores atípicos y asimetrías de varianza entre los Box-plot de los valores de índice de peróxido en función de la temperatura de almacenamiento, tipo de empaque y a la interacción mostrados en las Figuras 5, 6 y 7.

En la Figura 5, se muestra el índice de peróxido respecto a las temperaturas de almacenamiento (5, 20 y 35 °C), donde se observa que cada variable de evaluación presenta heterogeneidad en sus datos demostrado en el tamaño de las cajas y la extensión de los bigotes. Con respecto a la temperatura de 5 °C se evidencia datos simétricos debido a que la mediana representa la

mitad del 50 % de los datos distribuidos en la caja, pero a su vez presentaron tres datos atípicos en el extremo superior y uno en el inferior, correspondiente a los valores fuera de los límites permitidos. Asimismo, para las temperaturas de 20 y 35 °C se observa en las cajas asimetría al lado derecho de sus datos, entendiéndose que la mejor distribución y homogeneidad está en el lado izquierdo. Además, presentan datos atípicos en los extremos superiores de los bigotes para ambos conjuntos de evaluación, dos para la temperatura de 20 °C y tres para la temperatura de 35 °C.

Figura 5

Índice de peróxido para la variable de temperatura



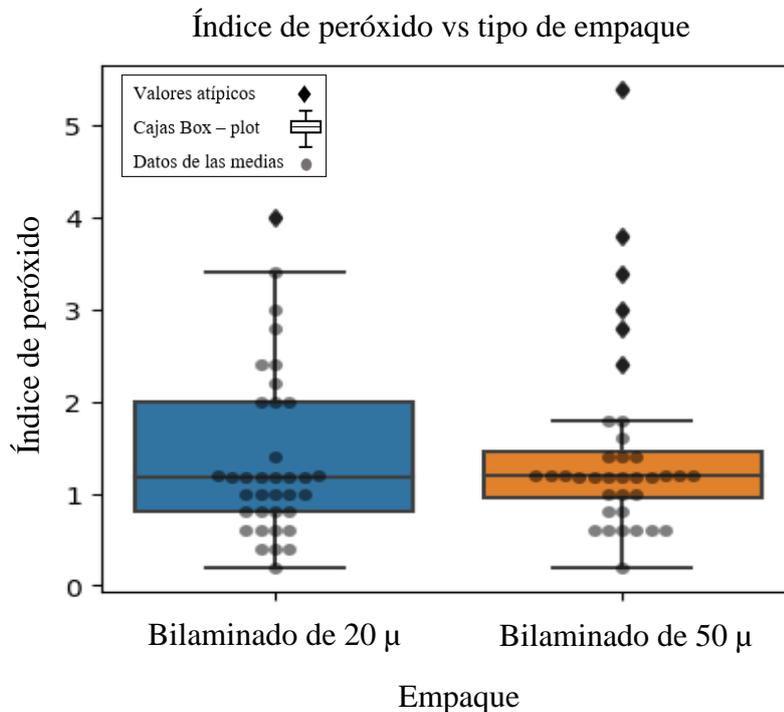
En la Figura 6, se muestra el diagrama de evaluación del índice de peróxido respecto al empaque bilaminado de 20 y 50 μ , donde se observa que para el envase bilaminado de 20 μ presenta datos asimétricos al lado derecho de la

caja con mayor extensión en el límite superior del bigote y un dato atípico fuera del límite permitido. Caso contrario con el empaque de 50 μ que presenta simetría de sus datos, pero mayores datos atípicos fuera del límite máximo en un total de 6 valores, comparado con el envase bilaminado de 20 μ .

Asimismo, al presentar todas las cajas el mismo valor de la mediana, se entiende que presentan datos similares en dicha evaluación.

Figura 6

Índice de peróxido para la variable tipo de empaque

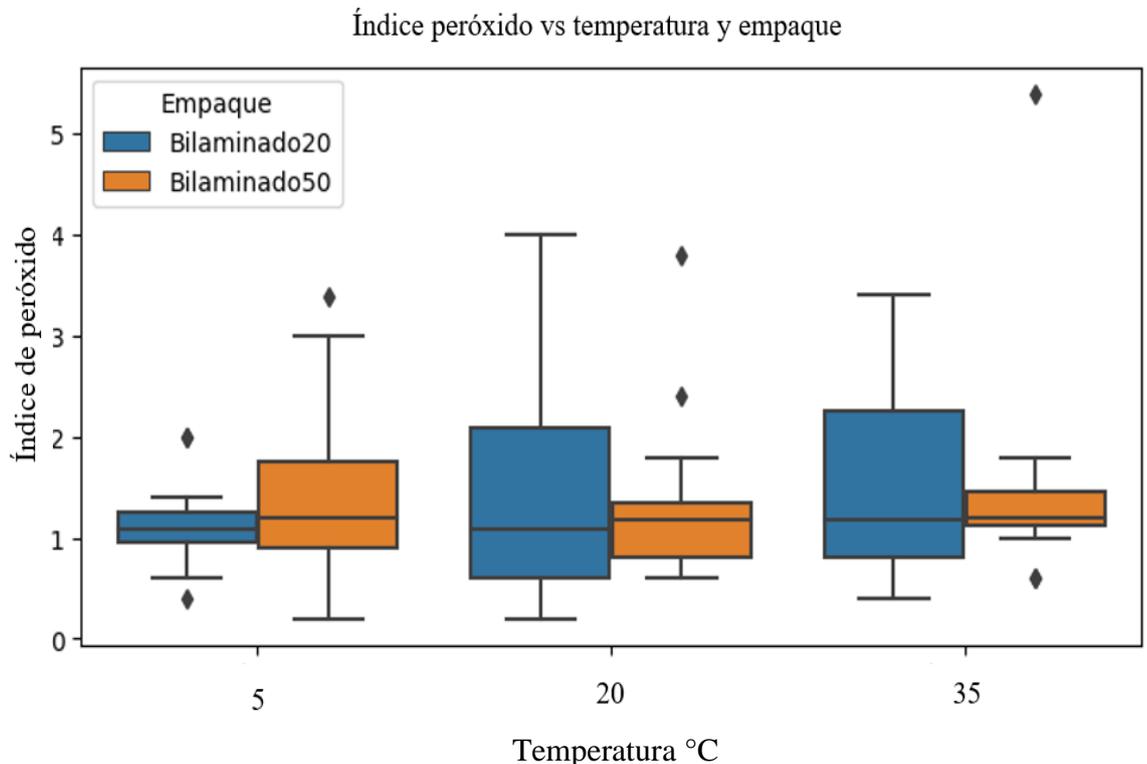


En la Figura 7, se muestran los múltiples gráficos de Box-plot (caja de bigotes) donde se analiza de forma gráfica la dispersión del conjunto de datos del índice de peróxido, evaluados a las tres temperaturas (5, 20 y 35 $^{\circ}$ C) con los dos tipos de empaques (bilaminado 20 y 50 μ). Se observa, que el empaque de foil de aluminio de 20 μ a 5 $^{\circ}$ C presenta mejor simetría de

sus datos, y la extensión de los bigotes son más cortos, pero se perciben datos atípicos, uno para cada límite superior e inferior; sin embargo, a 20 y 35 °C muestran mayor asimetría al lado derecho de las cajas con mayor extensión del bigote en el límite superior sin presencia de datos atípicos. No obstante, para el empaque de 50 μ a 5 °C los datos en la caja presentan asimetría al lado derecho, con mayor extensión de sus bigotes y mostrando un dato atípico en el límite superior. Respecto a la temperatura de 20 °C se muestra mayor distribución de datos al lado izquierdo, pero menor extensión en los bigotes y con dos datos atípicos en el extremo superior. Lo que respecta a la temperatura de 35 °C se evidencia simetría al lado derecho con mayor extensión en el límite superior y con un valor atípico en el límite superior y uno en el límite inferior.

Figura 7

Índice de peróxido vs temperatura y tipo de empaque



En síntesis, para analizar el índice de peróxido en la oxidación de la grasa del chocolate tiende a ser muy variable e inestable esto se evidencia en la Figura 5, 6 y 7, donde existen valores atípicos, asimetría y simetría de los datos en la cajas e inestabilidad en la extensión de los bigotes del límite superior e inferior.

IV. DISCUSIÓN

Los valores finales del índice de peróxido encontrados para los chocolates de taza 100 % cacao almacenados a diferentes temperaturas por 15 días con una HR de 65 % empacados en envases de foil de aluminio bilaminados de 20 y 50 μ son 1.8 y 2.0 meq O₂ activo/Kg de grasa para 5 °C, 2.8 y 2.7 meq O₂ activo/Kg de grasa para 20 °C y 2.7 y 2.8 meq O₂ activo/Kg de grasa para 35 °C respectivamente, resultados que muestran una tendencia de incremento no lineal del índice de peróxido para los empaques de 20 y 50 μ . Estos valores se asemejan a los resultados que divulgó Rodríguez (2022) en el cual trabajó con 5 tipos de chocolates almacenados a 20, 25 y 30 °C por 56, 42 y 10 días respectivamente, donde los resultados mostraron una tendencia de incremento no lineal del índice de peróxido, presentando fluctuaciones de los valores. Sin embargo, en los resultados que divulgaron Castillo y Silva (2015) para chocolate de taza almacenados por 90 días con una HR del 80 %, empacados en polipropileno mono orientado y aluminio de poliéster con barrera de polietileno, existe una diferencia debido a que se observa una tendencia lineal de incremento del índice de peróxido para los 2 empaques, siendo los valores finales de índice de peróxido de 4.1 y 4.23 meq O₂ activo/Kg de grasa para 20 °C, 4.72 y 4.49 meq O₂ activo/Kg de grasa para 25 °C y 4.79 y 4.57 meq O₂ activo/Kg de grasa para 30 °C respectivamente.

El índice de peróxido está relacionado con la extracción de la grasa y de la distribución en la geometría de la tableta de chocolate, también hay una dependencia con respecto a la concentración de chocolate, los factores que intervienen en el proceso también influyen en la no homogeneidad y no linealidad del resultado de los análisis. Asimismo, puede relacionarse con la estabilidad del producto a la hora del envasado.

Con respecto a la cinética de la oxidación de las grasas, el comportamiento que reportaron Tolve et al. (2022) sobre la formación de hidroxiperóxidos en cremas de chocolate untable en función de la temperatura de almacenamiento resultó no lineal, además mencionaron que siguió una cinética de orden uno, con una tendencia de crecimiento, pero con algunos valores que decrecen con el incremento de la temperatura, fenómeno oxidativo similar al que se ha obtenido en la presente investigación a diferencia de la cinética que resultó ser de orden cero, fenómeno oxidativo de degradación de las grasas que merece una profundización del estudio.

Castillo y Silva (2015) reportaron que para un almacenamiento de 18 °C tiene una vida útil estimada de 135 y 148 días para el chocolate de taza empacados en polipropileno mono orientado y aluminio de poliéster con barrera de polietileno respectivamente; asimismo Chica y Osorio (2003) divulgaron que la vida útil estimada para un almacenamiento a 18 °C con humedad relativa de 80 % de 255.87 días para el chocolate de tasa sin azúcar envasado en polipropileno biorientado, además Hidayati et al. (2022) reportaron una vida útil del chocolate instantáneo envasado al vacío en plásticos de polipropileno mediante el método ASLT de 281, 58, 240, 99 y 113 días a 30, 40 y 50 °C respectivamente, tiempos estimados que difieren con los resultados de la investigación, donde se obtiene una vida útil estimada para 18 °C de 124 y 98 días para los empaques de foil de aluminio bilaminado de 20 y 50 μ respectivamente. No obstante, en el estudio que realizaron Tolve et al. (2022) predijeron la vida útil de chocolate para untar a 20 °C en 59.5 días, tiempo menor al estimado en la presente investigación. La diferencia en las investigaciones del tiempo estimado de vida útil puede depender del modelo empleado, debido a que los autores de referencia utilizan un método multivariado con varios descriptores de calidad (análisis sensorial, físico químico y microbiológico) y además condiciones de almacenamiento controladas.

Las diferencias que se muestran en los tiempos de vida útil entre los empaques de 20 y 50 μ , están ligadas a las propiedades de barrera que presentan cada una, en relación a la transmisión de vapor de agua (Volatino y Cornejo, 2022) y de O_2 (Alvarez y Morales, 2013) observándose una dependencia de ambas transmisiones; el empaque de 20 μ muestra una mayor impermeabilidad al O_2 y al vapor de agua, caso contrario del de 50 μ , lo que concuerda con los resultados obtenidos en la investigación, relacionándose el mayor tiempo de vida útil con la menor concentración de O_2 en el empaque de 20 μ , consecuencia del menor proceso oxidativo que produce el O_2 en este empaque, a diferencia del de 50 μ , donde se tiene un menor tiempo de vida útil al igual de lo que reportaron (Castaño et al., 2005). Asimismo, Aluminium Film Paper (2023) y Haomei Aluminum (2017) mencionaron, que el empaque de foil de aluminio de 12 a 20 μ es el más conveniente para envasar chocolate, debido a que presenta mejores propiedades de barrera (mayor impermeabilidad al vapor de agua, gases, mayor resistencia a la luz, etc.). Su fabricación se realiza mediante aleación de aluminio (Al) más hierro (Fe) para darle mayor resistencia a la lámina por lo que requiere de alta fuerza de transformación para obtener una laminación adecuada; por lo tanto, a mayor número y tamaño de fases intermetálicas Al – Fe, habría un mayor riesgo de presentar microperforaciones en la estructura del foil de aluminio (Alliance Packaging Group, 2022). Asimismo, se debe saber que el de foil de aluminio menor al micraje recomendado ($< 12 \mu$), no asegura una impermeabilidad absoluta por ser quebradizo y es probable que se den perforaciones al momento de manipularlo.

Por otro lado, las empresas se interesan en fabricar empaques de foil de aluminio de 50 μ para el empackado de snacks, café tostado y molido y otros, por tratarse de productos deshidratados (Fontalvo et al., 2021).

No obstante, según los resultados obtenidos en la presente investigación, el chocolate envasado en foil de aluminio bilaminado de 20 μ almacenado entre 15 y 18 °C tiene una vida útil entre 141 y 124 días respectivamente, condiciones que garantizan una conservación de calidad requerido para el consumo.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se evaluó el índice de peróxido de chocolate envasado en foil de aluminio bilaminado de 20 y 50 μ almacenado a 5, 20 y 35 °C con humedad relativa del 65 %, que fueron 1.8 y 2.0 meq O₂ activo/Kg de grasa para 5 °C, 2.8 y 2.7 meq O₂ activo/Kg de grasa para 20 °C y 2.7 y 2.8 meq O₂ activo/Kg de grasa para 35 °C al final del estudio. Por otra parte, no existen diferencias significativas sobre el índice de peróxido respecto a la temperatura de almacenamiento y el tipo de empaque. Asimismo, no se observa una interacción significativa entre ellos.
- Se aplicó la ecuación de Arrhenius y se determinó la energía de activación en 6941.07 y 1908.55 cal/mol.°K y el factor pre exponencial K₀ de 11705.34 y 2.45 para el envase de 20 y 50 μ respectivamente, y la velocidad de deterioro K (días⁻¹) para cada temperatura de estudio en 0.0343 días⁻¹ (5 °C), 0.1128 días⁻¹ (20 °C) y 0.1142 días⁻¹ (35 °C) para el envase de 20 μ y 0.0795 días⁻¹ (5 °C), 0.0875 días⁻¹ (20 °C) y 0.1116 días⁻¹ (35 °C) para el envase de 50 μ .
- Se determinó la vida útil del chocolate a 5, 20 y 35 °C en 217, 114 y 64 días para los empaques de 20 μ , y 114, 95 y 81 días para los empaques de 50 μ respectivamente. Además, se predijo la vida útil a temperaturas de almacenamiento a 0, 10, 15, 18, 25 y 30 °C siendo 274, 174, 141, 124, 94 y 77 días en los envases de 20 μ y 121, 107, 101, 90 y 85 días en los envases de 50 μ respectivamente.

Recomendaciones

- A los estudiantes interesados en realizar investigaciones sobre el tema, enfocar el estudio mediante análisis sensoriales, que permita encontrar una relación con los parámetros fisicoquímicos y poder validar una metodología multivariada para determinar la vida útil del chocolate y otros productos. Asimismo, desarrollar distintos modelos matemáticos relevantes para el estudio, evaluando la variabilidad del índice de peróxido para encontrar una relación con su estabilidad.
- A las autoridades y docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias, promover investigaciones multidisciplinarias relacionadas con la determinación de vida útil derivados de productos de chocolate y otros alimentos de la zona.
- A los empresarios dedicados a la producción de chocolates, tomar como referencia el estudio realizado para predecir la vida útil de chocolate de taza y productos derivados, además se sugiere el escalamiento en esta metodología en la producción, acorde a la exigencia de la normativa vigente.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M., y Vieira, J. (2008). *Effects of tempering and fat crystallisation behaviour on microstructure, mechanical properties and appearance in dark chocolate systems*. Journal of Food Engineering, 89(2), 128-136. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.04.021>
- Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M., y Vieira, J. (2009a). *Fat bloom development and structure-appearance relationships during storage of under-tempered dark chocolates*. Journal of Food Engineering, 91(4), 571-581. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.10.011>
- Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M., y Vieira, J. (2009b). *Influence of tempering and fat crystallization behaviours on microstructural and melting properties in dark chocolate systems*. Food Research International, 42(1), 200-209. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.10.007>
- Alliance Packaging Group (2022). *Foil de aluminio*. <https://www.apgglobe.com/foil-de-aluminio-2/>
- Altimiras, P., Pyle, L., y Bouchon, P. (2007). *Structure-fat migration relationships during storage of cocoa butter model bars: Bloom development and possible mechanisms*. Journal of Food Engineering, 80(2), 600-610. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.06.022>
- Aluminium Film Paper. (2023). *Aluminio y PET metalizado (PET-met): Aplicaciones y Diferencias*. Obtenido de <https://alfipa.es/productos/aluminio-pet-metalizado-pelicula/>
- Alvarez Guzman, P., y Morales, T. P. (2013). *Implementación de un equipo para ensayos de permeabilidad al oxígeno en membranas poliméricas empleadas en envases de*

- alimentos*. Ingeniería en Automatización. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_automatizacion/262/
- Alvis, A., Pérez, L., y Arrazola, G. (2011). *Determinación de las propiedades de textura de tabletas de chocolate mediante técnicas instrumentales*. Información tecnológica, 22(3), 11-18.
- AOAC. (2003). *Valoración del índice de peróxidos en aceites comestibles mediante el método AOAC 965.33*. https://www.fao.org/input/download/report/308/al79_17s.pdf
- Barboza, B., y Yoelinson, A. (2016). *Estimación de la vida útil de una bebida achocolatada mediante pruebas aceleradas por temperatura*. Unisidad de los Andes. <http://www.bdigital.ula.ve/storage/pdf/41788.pdf>
- Barrera Huilca, V. A. (2019). *Análisis económico y financiero para la creación de una empresa productora y comercializadora de pasta de chocolate, cantón Carlos Julio Arosemena Tola, provincia de Napo*. <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/14002/1/22T0544.pdf>
- Barrientos Felipa, P. (2015). *La cadena de valor del cacao en Perú y su oportunidad en el mercado mundial*. Semestre económico, 18(37), 129-155.
- Batista, L. (2009). *El cultivo de cacao*. Santo Domingo: Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal, 23(2), 45-54.
- B TSA Biotecnologías Aplicadas (2022). *Métodos más utilizados para determinar la vida útil de los alimentos*. <https://www.btsa.com/vida-util-de-los-alimentos-metodos/>
- Cajo-Pinche, M., y Díaz-Viteri, J. (2022). *Determinación de parámetros óptimos de tostado de semilla de copoazú (Theobroma grandiflorum (Willd ex Spreng) Schum) para la obtención de licor o pasta*. Revista Agrotecnológica Amazónica, 2(1), e265-e265.

- Castaña, J., Mayorga, I. M., Rodríguez, D., y Lozano, A. (2005). *Análisis comparativo de tres estructuras de empaque para café tostado y molido*. <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc055%2804%29277-301.pdf>
- Castillo, D., y Silva, C. (2015). *Determinación de la vida de anaquel del chocolate de taza elaborado por ASDEME, mediante pruebas aceleradas (ASLT) en dos tipos de empaque*. Unisidad Nacional de Piura.
- Chica, B., y Osorio, S. (2003). *Determinación de la vida de anaquel del chocolate de mesa sin azúcar en una pelícplancha deula de polipropileno bioorientado*. Unisidad Nacional de Colombia - Sede Manizales.
- Chire, G. C., y Hartel, R. W. (2010). *Efectos de diferentes emulsificantes en el atemperado de chocolate oscuro*. *Ciencia e Investigación*, 13(1), 14-18.
- Cueva Rios, A. M., Fernandez Rosillo, F., Quiñones Huatangari, L., y Milagros Cabrejos Barrios, E. (2023). *Estimation of coffee shelf life under accelerated storage conditions using mathematical models—Systematic review*. *Czech Journal of Food Sciences*. <https://cjfs.agriculturejournals.cz/artkey/cjf-000003-0821.php>
- Danzl, W., y Rothkopft, I. (2016). *Comparing storage tests for chocolate shelf life prediction*. 14th Euro Fed Lipid Congress. Ghent, Belgium.
- Delbaere, C., Van de Walle, D., Depypere, F., Gellynck, X., y Dewettinck, K. (2016). *Relationship between chocolate microstructure, oil migration, and fat bloom in filled chocolates*. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 118(12), 1800-1826.
- Díaz Ponce, S. L., y Pinoargote Chang, M. H. (2012). *Análisis de las características organolepticas del chocolate a partir de cacao CCN51 tratado enzimáticamente y tostado a diferentes temperaturas*. <https://core.ac.uk/download/pdf/12414316.pdf>

- Fontalvo, J. C., Martínez, T. S., Corrales, A., y Herazo, J. C. (2021). *Revisión de las tecnologías emergentes en el envase y procesamiento de alimentos agroindustriales*. <https://doi.org/10.17981/bilo.3.2.2021.01>
- Gatti, R. F., Santana, F. B., Poppi, R. J., y Ferreira, D. S. (2021). *Química de los alimentos*. Espectrómetro NIR portátil para la identificación rápida de la efluorescencia de grasa en los chocolates. <https://www.elsevier.com/locate/foodchem>
- Garcerant, I. P. (2015). *La función del envase en la conservación de alimentos*. Bogotá, Colombia: Ediciones Unisalle. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=G4D1DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA10&dq=envases+de+aluminio>
- Girano, M. (2018). *Influencia de tipo de envase en la vida útil de la crema de sachá inchi (Plukenetia volubilis L.) para Consumo Humano*. Unisidad Nacional de San Martín - Tarapoto. <https://core.ac.uk/download/pdf/287333359.pdf>
- Grivetti, L. E., y Shapiro, H.-Y. (2011). *Chocolate: History, culture, and heritage*. John Wiley & Sons. <https://www.wiley.com/en-it/exportProduct/pdf/9780470121658>
- Haomei Aluminum. (2017). *Especificación del papel de aluminio 8079*. Obtenido de <https://www.foilalu.com/wp-content/uploads/2017/03/Foil-de-Aluminio-8079.pdf>
- Hidayati, S., Sartika, D., y Fudholi, A. (2022). *Predict the shelf life of instant chocolate in vacuum packing by using accelerated shelf life test (ASLT)*. *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 9(2), 443-450.
- Inungaray, M. L. C., y Reyes, A. (2013). *Vida útil de los alimentos*. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias: CIBA*, 2(3), 3.

- Jácome Lagla, W. D. (2015). *Diseño de una planta de elaboración de chocolate negro y chocolate con leche a partir del licor de cacao*. <https://www.wiley.com/en-it/exportProduct/pdf/9780470121658>
- Jaimez, R. E., Barragan, L., Fernández-Niño, M., Wessjohann, L. A., Cedeño-García, G., Cantos, I. S., y Arteaga, F. (2022). *Theobroma cacao L. cultivar CCN 51: A comprehensive review on origin, genetics, sensory properties, production dynamics, and physiological aspects*. PeerJ, 10, e12676.
- Lanaud, C., Loor, R. G., Zarrillo, S., y Valdez, F. (2012). *Origen de la domesticación del cacao y su uso temprano en el Ecuador*. <https://www.presidencia.gob.ec/wp-content/uploads>
- Landeo, E. (2019). *Vida Útil del aceite de aguaje (Mauritia flexuosa L.f.) mediante pruebas aceleradas*. Unisidad Nacional del Callao. http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/4127/LANDEO%20PINO_POSGRADO_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- López Cuadra, Y. M., Cunias Rodríguez, M. Y., y Carrasco Vega, Y. L. (2020). *El cacao peruano y su impacto en la economía nacional*. Revista Unisidad y Sociedad, 12(3), 344-352.
- Lucero, J. (2019). *Estudio de la cinética del deterioro de una premezcla de cacao en polvo para preparar bebidas chocolatadas*. Unisidad Central del Ecuador. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/19307/1/T-UCE-0008-CQU-160.pdf>
- Medina Domínguez, J. (2015). *Estudio de aplicación de la metodología APPCC para el control de calidad del proceso de elaboración de tabletas de chocolate*. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/14344/TFML237.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Mendoza, K. (2017). *Muffins de chocolate con relleno de mermelada de kiwi enriquecida con Spirulina (Arthrospira platensis)*. Unisidad Nacional de San Agustín de Arequipa. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3164>
- Nicoli, M. C. (2012a). *An introduction to food shelf life: Definitions, basic concepts, and regulatory aspects*. Shelf life assessment of food, 1-16.
- Nicoli, M. C. (2012b). *The shelf life assessment process*. Shelf Life Assessment of Food, Nicoli; Nicoli, MC, Ed.; CRC PRESS, Taylor & Francis Group: Boca Raton, FL, USA, 17-36.
- Norma Técnica Peruana 208. 016: 2021 *Cacao y chocolate. Grasa en productos del cacao. Método de extracción por soxhlet 4° Edición*. <https://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/detalle.aspx?id=34587&idtv=9382>
- Norma Técnica Peruana 209. 006: 1968 (revisada el 2016) *Aceites y grasas comestibles. Método de determinación de índice de peróxido*. <https://salalecturavirtual.inacal.gob.pe:8098/misnormas.aspx>
- Nurhayati, R., Pratiwi, R., Anandito, B., Rahayu, N., y Angwar, M. (2018). *Shelf Life Prediction of Chocomix Instant Chocolate Beage Powder Using Accelerated Shelf Life Testing (ASLT) based on Critical Moisture Content Approach*. Reaktor, 18(2), 63-70. <https://doi.org/10.14710/REAKTOR.18.2.63-70>
- Pastor-Soplín, S., Velásquez, D., y Rivas, E. (2022). *Utilización de los recursos genéticos en un país que es centro de origen: El caso del cacao en el Perú*. Revista peruana de biología, 29(4).
- Paternina, K., Acevedo, D., y Montero, P. (2018). *Evaluación de la Vida Útil de una Pasta de Ajonjolí Azucarada mediante Pruebas Aceleradas*. Información tecnológica, 29(4), 3-12. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000400003>

- Perez Lara, G. A., y Cornejo, F. (2006). *Mejora en el proceso de temperado del chocolate en una industria chocolatera ecuatoriana*. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/4401/1/D-CD36025.pdf>
- Portillo¹, E., Graziani de Fariñas, L., y Cros, E. (2006). *Efecto de algunos factores post-cosecha sobre la calidad sensorial del cacao criollo porcelana (Theobroma cacao L.)*. Revista de la Facultad de Agronomía, 23(1), 51-59.
- Quintero, M. L., y Díaz Morales, K. M. (2004). *El mercado mundial del cacao*. Agroalimentaria, 9(18), 47-59.
- Rodriguez, L., Baracco, Y., Lecot, J., Zaritzky, N., y Campderrós, M. (2017). *Effect of sweetener combination and storage temperature on physicochemical properties of sucrose free white chocolate*. Food chemistry, 229, 610-620. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2017.03.002>
- Rodríguez Pérez, L. (2022). *Desarrollo de metodología para estudio de vida útil acelerada en chocolates*. Unisidad de Valladolid - Valencia. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/56787/TFML585.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rosillo, F. F., Ríos, M. A. C., Huatangari, L. Q., y Lalangui, C. G. S. (2022). *Shelf-Life Prediction of Specialty Coffees using the Arrhenius Model*. OnLine Journal of Biological Sciences, 23(1), 17-24. <https://doi.org/10.3844/ojbsci.2023.17.24>
- Tolve, R., Tchuenbou-Magaia, F. L., Sportiello, L., Bianchi, F., Radecka, I., y Favati, F. (2022). *Shelf-Life Prediction and Thermodynamic Properties of No Added Sugar Chocolate Spread Fortified with Multiple Micronutrients*. Foods, 11(15), 2358.
- Torres, H., y Zaldaña, M. (2017). *Determinación de la vida de anaquel de horchata de morro elaborada artesanalmente y evaluación del tipo de empaque para su*

conservación. Unisidad de el Salvador. <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/13501/1/Determinaci%C3%B3n%20de%20la%20vida%20de%20Anaquel%20%20Horchata%20de%20Morro%20elaborada%20artesanalmente%20y%20evaluaci%C3%B3n%20del%20tipo%20de%20empaque%20para%20su%20conservaci%C3%B3n.pdf>

Vera Chang, J., Álvarez Escaleras, M., y Ibáñez Astaburuaga, A. (2021). *Sistema de producción de la almendra y del cacao: Una caracterización necesaria*. <https://www.redalyc.org/journal/280/28068276029/html/>

Volatino, V. L., y Cornejo, E. J. (2022). *Resistencia al vapor de agua en materiales de espesor delgado*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente - AMA, 2, Article 2.

Yi Chang, A. (2017). *Importancia del proceso de temperado en la elaboración del chocolate a nivel industrial*. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3026/Q02-Y5-T.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Zambrano Cruz, J. C. (2017). *Relaciones filogenéticas entre tipos de cacao (theobroma cacao l.): Forastero, trinitario y nacional, basadas en marcadores morfológicos y secuencias nucleotídicas de la región ITS; y su posible uso en la identificación de clones*. <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/2722/1/T-UTEQ-130.pdf>

Zarrillo, S., Gaikwad, N., Lanaud, C., Powis, T., Viot, C., Lesur, I., Fouet, O., Argout, X., Guichoux, E., y Salin, F. (2018). *The use and domestication of Theobroma cacao during the mid-Holocene in the upper Amazon*. Nature ecology & evolution, 2(12), 1879-1888.

DEDICATORIA

A Dios, por guiarme en todo momento, darme la fortaleza necesaria para terminar con éxito mi tesis.

A mis padres José García Chinguel y Nancy Edit López Martínez, quienes fueron la motivación y el pilar fundamental en mi formación profesional de Ingeniera en Industrias Alimentarias.

A mis familiares por su apoyo incondicional durante mi desarrollo profesional.

A los docentes, asesores y compañeros de clase por haber compartido experiencias durante la vida universitaria.

Yomely García López

Este trabajo de investigación va dedicado en primer lugar a Dios, por guiarme en toda esta trayectoria, el cual ha sido mi soporte espiritual y mental.

A mis padres, William Omar Vásquez Becerra y Dora Vega Fernández por su apoyo incondicional en mi formación profesional haciendo realidad la meta propuesta de obtener el título profesional de ingeniera en Industrias Alimentarias.

A mi hermana Fiorella Maricielo Vásquez Vega a quien considero mucho, siendo el motivo de mi constante perseverancia.

A los profesores, asesores y compañeros de clase por sus innumerables lecciones y enseñanzas compartidas en el transcurso de mi desarrollo académico.

Jessica Thalia Vásquez Vega

AGRADECIMIENTO

A nuestros asesores Dra. María Alina Cueva Ríos y Mg. Frank Fernández Rosillo, docentes de la Universidad Nacional de Jaén, quienes nos orientaron y guiaron de forma profesional y científica en el desarrollo de nuestra tesis.

Al Dr. Lenin Quiñones Huatangari, por su apoyo en la gestión y orientación en el desarrollo de la ejecución de la tesis.

Al M. Cs Adán Ruiz Díaz, por su orientación en la realización de la tesis.

A la empresa Agrotec por haber donado la materia prima para realizar la presente investigación.

A la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza por haber brindado las facilidades para emplear sus instalaciones y equipos del laboratorio de Ingeniería de Alimentos y Poscosecha, además a su personal especializado por su apoyo incondicional durante la ejecución del proyecto.

A la Universidad Nacional de Jaén por habernos cobijado en sus aulas durante el desarrollo de nuestra vida universitaria.

ANEXOS

Anexo 1. Galería de fotos: Análisis para la determinación del índice de peróxido

Figura 8

Tabletas de chocolates codificadas



Figura 9

Adaptabilidad de tabletas en refrigeración (5°C)



Figura 10

Acondicionamiento de tabletas a temperatura ambiente



Figura 11

Acomodamiento de tabletas en estufa (35°C)



Figura 12

Trituración de tabletas de chocolate



Figura 13

Pesos de las muestras de chocolate



Figura 14

Muestras de chocolate de 5 gramos



Figura 15

Cartuchos con chocolate triturado



Figura 16

Extracción de aceite del chocolate mediante el método soxhlet a 40 °C



Figura 17

Eliminación de residuos de éter mediante el uso de la estufa a 75 °C por 15 minutos



Figura 18

Muestras extraídas de grasa de chocolate



Figura 19

Grasa triturada de chocolate



Figura 20

Materiales para titulación



Figura 21

Calentamiento de la muestra a 40 °C por 1 minuto aproximadamente



Figura 22

Adición de ácido acético y cloroformo



Figura 23

Adición de yoduro de potasio



Figura 24

Incorporación de agua destilada



Figura 25

Titulación 1 con tiosulfato de sodio



Figura 26

Adición de almidón indicador



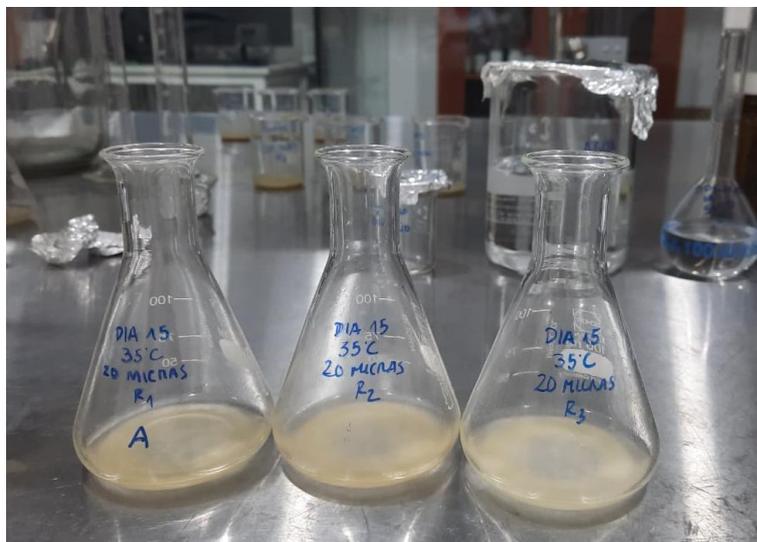
Figura 27

Titulación 2 con tiosulfato de sodio



Figura 28

Resultados de las muestras después de la titulación



Anexo 2. Datos tabulados

Tabla 10

Matriz de datos de índice de peróxido para 5 °C

Datos de índice de peróxido meq de O₂ activo/kg de grasa durante el almacenamiento de chocolate 100 % cacao											
5°C											
Fecha	Días	Bilaminado 20 μ (Bi20μ)					Bilaminado 50 μ (Bi50μ)				
		1rep	2rep	3rep	Promedio	Ln Bi20μ	1rep	2rep	3rep	Promedio	Ln Bi50μ
<i>16-Ene-23</i>	<i>0</i>	0.9988	1.1726	1.1772	1.1162	0.1099	1.2000	1.1730	1.1800	1.1835	0.1685
<i>21-Ene-23</i>	<i>5</i>	0.7990	1.1988	0.9988	0.9989	-0.0011	1	0.6000	0.2000	0.5998	-0.5112
<i>26-Ene-23</i>	<i>10</i>	0.9990	0.4000	0.5990	0.6660	-0.4064	0.6000	2.7960	3	2.1308	0.7564
<i>31-Ene-23</i>	<i>15</i>	1.3990	1.9980	1.9980	1.7980	0.5867	1.2000	1.3990	3.4000	1.9979	0.6923

Tabla 11

Matriz de datos de índice de peróxido para 20 °C

Datos de índice de peróxido meq de O₂ activo/kg de grasa durante el almacenamiento de chocolate 100 % cacao											
20°C											
Fecha	Días	Bilaminado 20 μ (Bi20μ)					Bilaminado 50 μ (Bi50μ)				
		1 rep	2 rep	3 rep	Promedio	Ln Bi20μ	1 rep	2 rep	3 rep	Promedio	Ln Bi50μ
<i>16-Ene-23</i>	<i>0</i>	0.9988	1.17256	1.1772	1.1162	0.1099	1.2000	1.1730	1.1800	1.1835	0.1685
<i>21-Ene-23</i>	<i>5</i>	0.5994	0.5996	0.8000	0.6664	-0.4060	0.7990	1.1990	0.600	0.8656	-0.1443
<i>26-Ene-23</i>	<i>10</i>	0.6000	3.0000	0.2000	1.2664	0.2362	0.6000	0.7990	1	0.7992	-0.2242
<i>31-Ene-23</i>	<i>15</i>	3.9950	2.3970	1.9970	2.7964	1.0283	3.7900	1.7970	2.4000	2.6638	0.9798

Tabla 12*Matriz de datos de índice de peróxido para 35 °C*

Datos de índice de peróxido meq de O₂ activo/kg de grasa durante el almacenamiento de chocolate 100 % cacao											
35°C											
Fecha	Días	Bilaminado 20 μ (Bi20μ)					Bilaminado 50 μ (Bi50μ)				
		1 rep	2 rep	3 rep	Promedio	Ln Bi20μ	1 rep	2 rep	3 rep	Promedio	Ln Bi50μ
16-Ene-23	0	0.9988	1.1726	1.1772	1.1162	0.1099	1.1955	1.1728	1.1823	1.1835	0.1685
21-Ene-23	5	0.3996	0.3996	0.8000	0.5331	-0.6291	0.5990	1	0.5995	0.7329	-0.3108
26-Ene-23	10	1.1980	0.8000	2.7970	1.5982	0.4687	1.3992	1.1986	1.7975	1.4651	0.3819
31-Ene-23	15	2.1980	2.3980	3.3980	2.6646	0.9801	1.5997	1.3992	5.3978	2.7989	1.0292

Anexo 3. Regresiones de orden cero y uno para cada empaque

Figura 29

Regresión lineal a 5 °C para empaque bilaminado de 20 μ

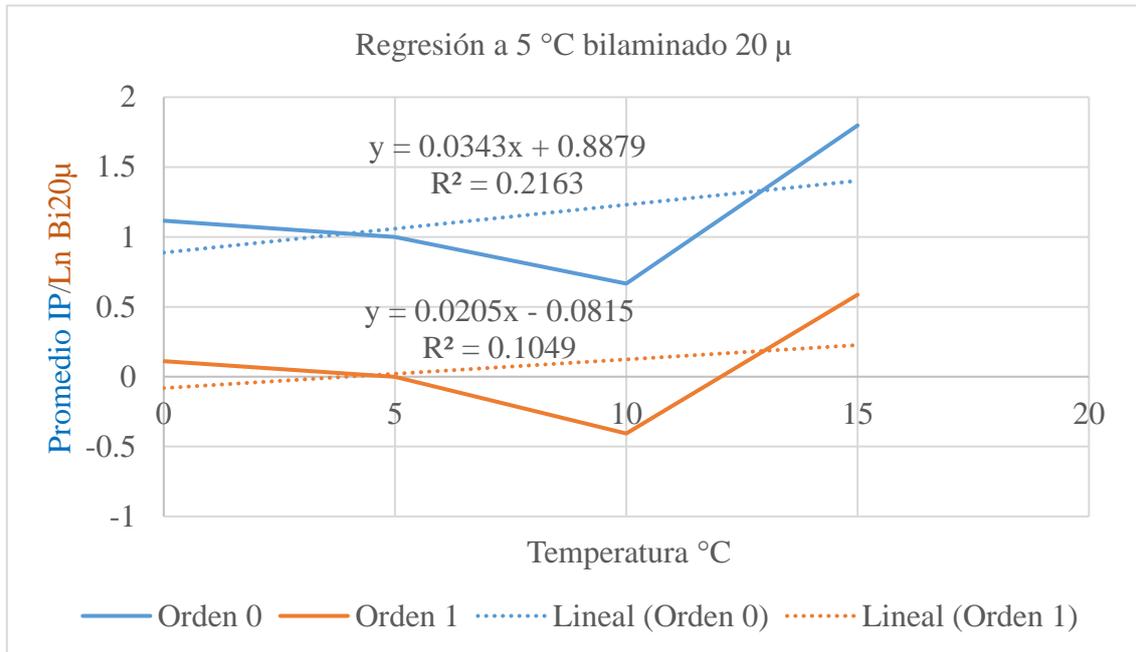


Figura 30

Regresión lineal a 5 °C para empaque bilaminado de 50 μ

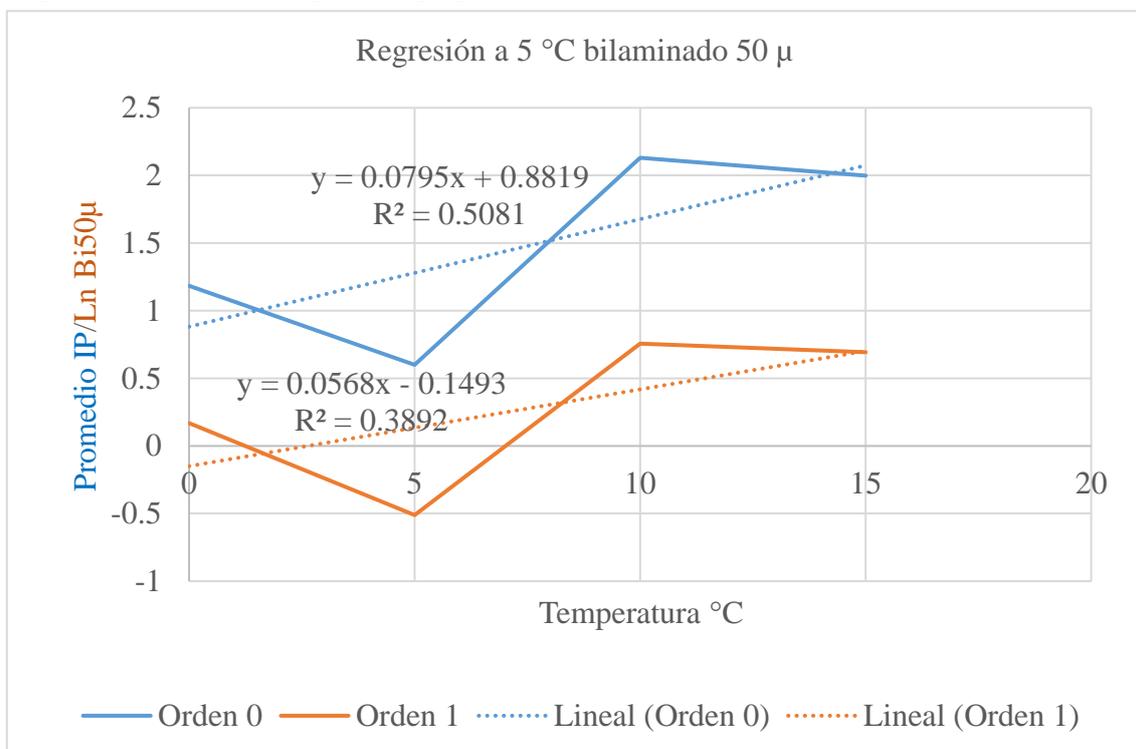


Figura 31

Regresión lineal a 20 °C para empaque bilaminado de 20 μ

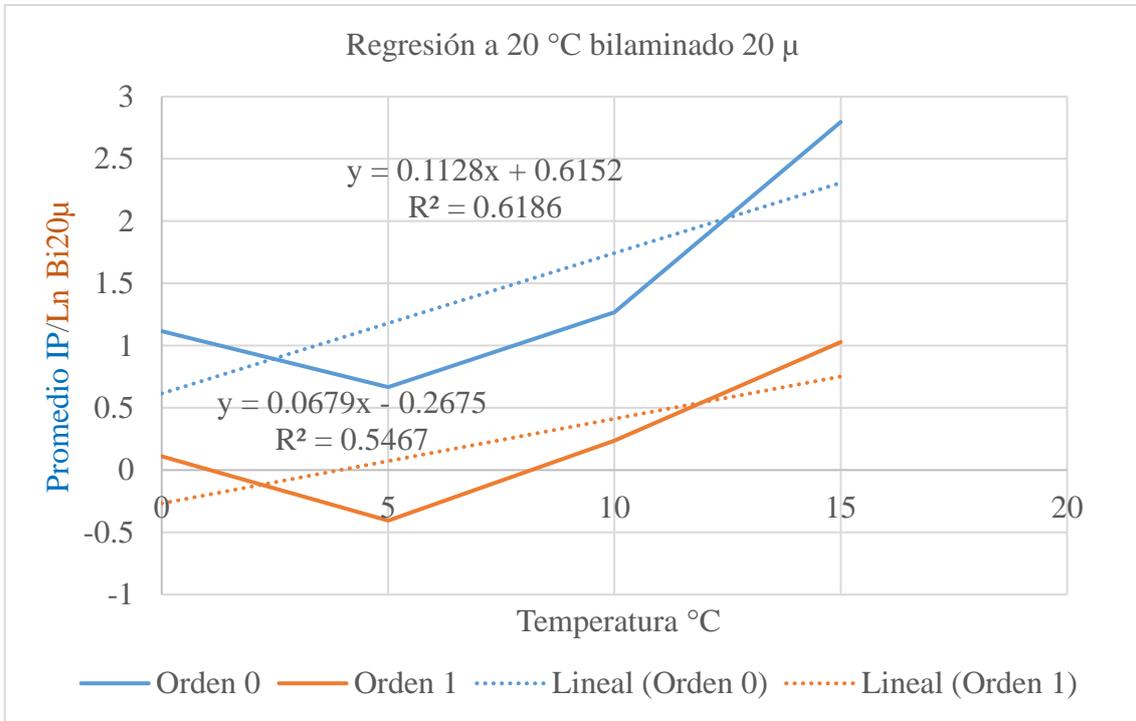


Figura 32

Regresión lineal a 20 °C para empaque bilaminado de 50 μ

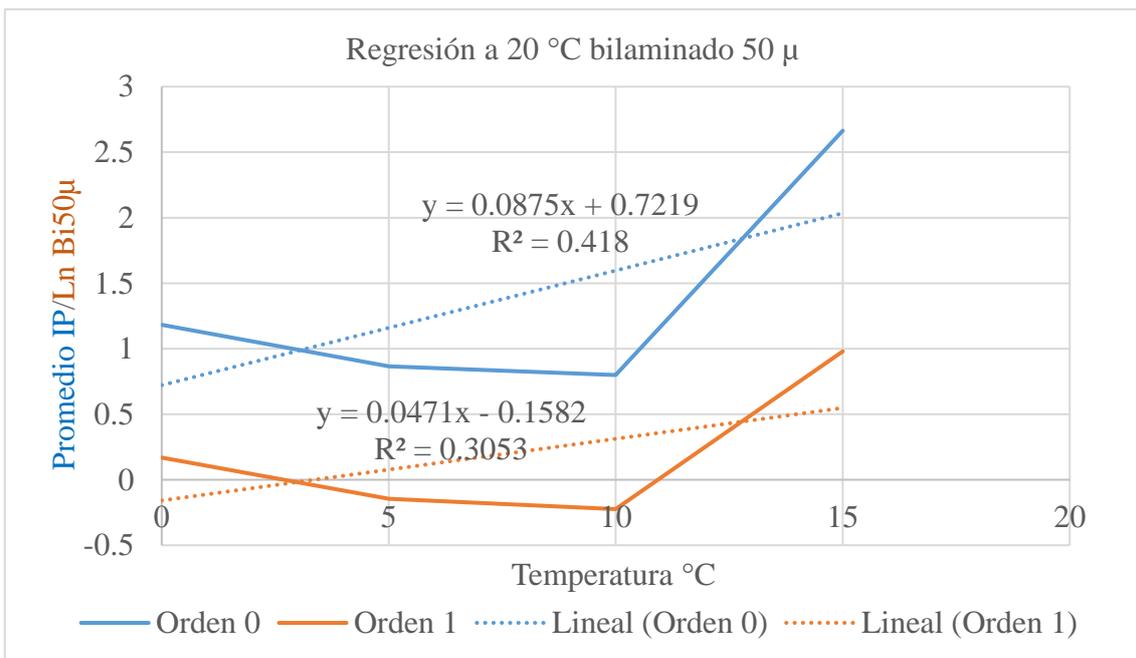


Figura 33

Regresión lineal a 35 °C para empaque bilaminado de 20 μ

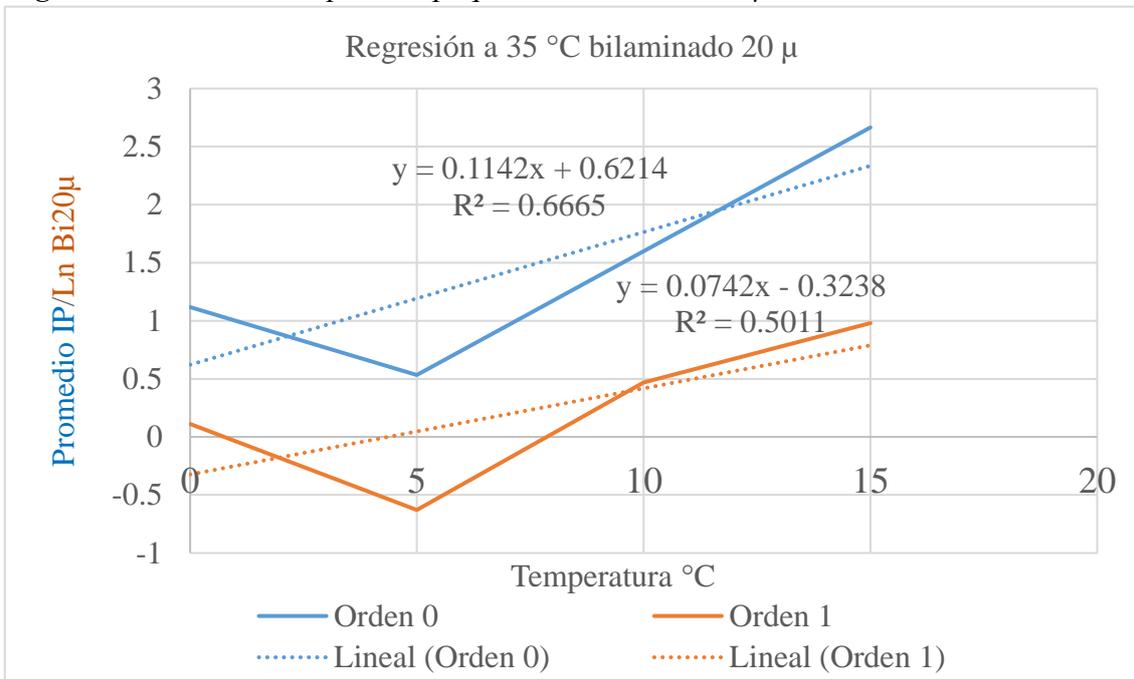
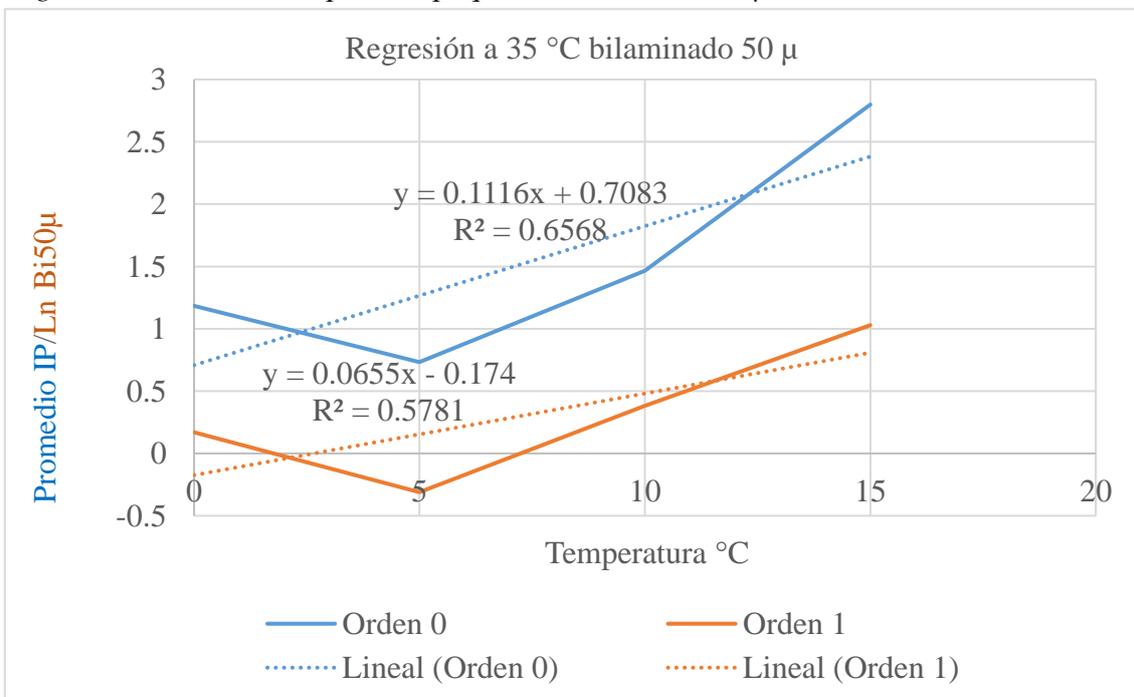


Figura 34

Regresión lineal a 35 °C para empaque bilaminado de 50 μ



Anexo 4. ANVA de dos factores en Python

Codificación en Python para gráfica de relación entre tiempo de vida útil y empaque

```
import matplotlib.pyplot as plt0
Temperatura = [0,5,10,15,18,20,25,30,35]
Dias_20micras = [274,217,174,141,124,114,94,77,64]
Dias_50micras = [121,114,107,101,98,95,90,85,81]
values = [0,5,10,15,18,20,25,30,35]
plt0.plot(Temperatura,Dias_20micras,'+:k',label='20 micras')
plt0.plot(Temperatura,Dias_50micras,'o:k',label='50 micras')
plt0.xlabel('Storage temperature (°C)')
plt0.ylabel('Shelf-life (days)')
plt0.legend(loc="upper right")
plt0.xticks(Temperatura,values)
plt0.show()
```

Codificación de Box-plot y ANVA en Python

```
#Librerías necesarias para correr el código
import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns
import pingouin as pg
# load data file
datos = pd.read_excel("//content/Data_peroxido.xlsx")
datos.head()
fig, axs = plt.subplots(1, 2, figsize=(10, 4))
axs[0].set_title('IndicePeroxido vs Temperatura')
sns.boxplot(x="Temperatura", y="IndicePeroxido", data=datos,
ax=axs[0])
sns.swarmplot(x="Temperatura", y="IndicePeroxido", data=datos,
color='black',
alpha = 0.5, ax=axs[0])
axs[1].set_title('IndicePeroxido vs Empaque')
sns.boxplot(x="Empaque", y="IndicePeroxido", data=datos, ax=axs[1])
sns.swarmplot(x="Empaque", y="IndicePeroxido", data=datos,
color='black',
alpha = 0.5, ax=axs[1]);
fig, ax = plt.subplots(1, 1, figsize=(8, 4))
ax.set_title('IndicePeroxido vs Temperatura y Empaque')
sns.boxplot(x="Temperatura", y="IndicePeroxido", hue='Empaque',
data=datos, ax=ax);
print('IndicePeroxido media y desviación típica por Temperatura')
datos.groupby('Temperatura')['IndicePeroxido'].agg(['mean', 'std'])
print('IndicePeroxido media y desviación típica por Empaque')
datos.groupby('Empaque')['IndicePeroxido'].agg(['mean', 'std'])
# Test ANOVA de dos vías (Two-way ANOVA)
#=====
=====
pg.anova(
    data      = datos,
    dv        = 'IndicePeroxido',
    between   = ['Temperatura', 'Empaque'],
    detailed  = True
```